

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Možnosti zvyšování efektivity frézování volbou upínání
nástroje

Options for Increasing Milling Efficiency by Selecting a Tool
Holder

Student:

Bc. Tomáš Durd'ák

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Marek Sadílek, Ph. D

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Durd'ák**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Možnosti zvyšování efektivity frézování volbou upínání nástroje**
Options for Increasing Milling Efficiency by Selecting a Tool Holder
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor možností zvyšování přesnosti frézování volbou upínače frézovacího nástroje.
2. Teoretický rozbor hřzivosti řezného nástroje ve vztahu k jeho upínači.
3. Experimentální část.
4. Závěry pro realizaci v praxi.

Seznam doporučené odborné literatury:

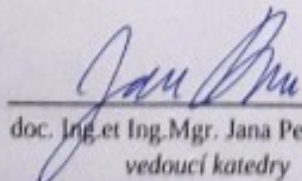
SADÍLEK, M.; DUBSKÝ, J. *Obrábění I – Výběr přednášek*. 2015, VŠB – TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1
AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
BRYCHTA, J.; CZÁN, A.; ČEP, R.; KRATOCHVÍL, J.; PETRŮ, J.; SADÍLEK, M.; STANČEKOVÁ, D.; ZLÁMAL, T. *Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů*. VŠB - TU Ostrava, Žilinská Univerzita v Žilině, 173 s., 2014, ISBN 978-80-248-3522-8.
NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK M. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábani*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

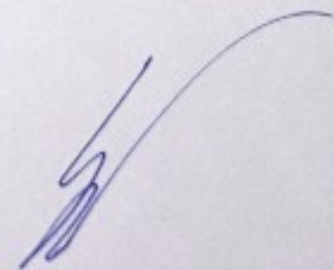
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Marek Sadílek, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě...18. 5. 2018...

Tomáš Dvořák

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou bakalářskou*) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. Zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen Autorský zákon), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, że Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou bakalářskou*) práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 Autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této bakalářské*) práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 Autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že - podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů - že tato bakalářská*) práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce, a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 18.5.2018...

Tomáš Durdák

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Tomáš Durdák

Adresa trvalého pobytu autora práce: Sokola Tůmy 691, Frýdlant nad Ostravicí 73911

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

DURĐÁK, T. *Možnosti zvyšování efektivity frézování volbou upínání nástroje*: diplomová práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2018, 68 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Sadílek, M. Ph.D.

Diplomová práce se zabývá efektivitou frézování dle zvoleného upínače obráběcích nástrojů. V první části této práce je možné se dozvědět něco o jednotlivých typech upínačů nástrojů pro obráběcí stroje. Dalším bodem je stručný rozbor upínacích částí upínačů do vřetena stroje. V poslední části teoretické části této práce je možno se dozvědět něco o házivosti a vyvažování upínačů nástrojů. V následujících kapitolách se diplomové práce zabývá experimentální částí. Experiment byl zaměřen na přesnost a drsnost obrobených ploch vzhledem ke zvoleným upínačům nástrojů. Pro experiment byl vybrán kleštinový, hydraulický a tepelný upínač. Tyto upínače byly osazeny stejným typem nástroje a následné obrábění probíhalo za stejných řezných podmínek. V závěru diplomové práce je vyhodnocení experimentu s danými upínači.

DURĐÁK, T. *Options for Increasing Milling Efficiency by Selecting a Tool Holder*: diploma thesis. Ostrava: VŠB - Technical university of Ostrava, Faculty of engineering, Department of machining, assembly and engineering metrology, 2018, 68 s. Supervisor: doc. Ing. Sadílek, M. Ph.D.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

The master's thesis deals with the efficiency of milling according to the selected tool holder of the machine tools. In the first part of this thesis there is something about individual types of tool holder of the machine spindle. Then there is a brief analysis of the clamping parts of the fixtures of the machine spindle. In the last part of the theoretical section of this thesis there is something about runout and balancing of the tool holder of the tools. In the following chapters the thesis deals with the experimental part. The experiment was focused to accuracy and roughness of the machined area due to selected fixtures of the tools. For the experiment was chosen collet, hydraulic and thermal tool holder. These fixtures were fitted with the same type of tool and following machining was going under the same cutting conditions. In the end of the thesis there is a evaluation of the experiment with the given tool holder.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Marku Sadílkovi, Ph. D. za odporné vedení, za pomoc a rady při zpracování této diplomové práce.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2018/136 Specifický výzkum v oblasti obrábění a strojírenské metrologie s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

Obsah

Prohlášení

Anotace

Poděkování

Obsah

Seznam značek

1	Úvod	10
2	Teoretický rozbor zvyšování přesnosti frézování volbou upínače	11
2.1	Typy upínačů	12
2.1.1	Kleštinový upínač	12
2.1.2	Hydraulický upínač	13
2.1.3	Tepelný upínač	14
2.1.4	Upínání nástrojů do tepelných upínačů	15
2.1.5	Typy upínacích kleštin	16
2.1.6	Další typy upínačů nástrojů	17
3	Upínací části do vřetene strojů	19
3.1	ISO kužel	20
3.2	HSK Kužel	21
3.3	Sandvik coromant Capto	22
4	Házivost a vyváženost nástrojů	23
4.1	Požadavky na upínače nástrojů	23
4.2	Přesnost polohy nástroje	24
4.3	Vyvažování upínačů	24
4.4	Graf jakosti vyvážení upínačů	26
4.5	Měření házivosti upínačů	27
5	Experimentální část	29
5.1	Použitý nástroj pro obrábění	30
5.2	Obráběný materiál	32
5.3	Obráběcí stroj	33
5.4	Použité upínače pro obrábění	34
5.5	Měření házivosti nástroje	39
5.6	Průběh obrábění drážek	41
5.7	Opotřebení nástroje	43
5.8	Vyhodnocení obrábění a házivosti nástrojů	45

5.9	Výpočet hodnot házivosti.....	50
5.10	Závěrečné shrnutí experimentu	53
6	Závěr.....	54
	Seznam použité literatury.....	60
	Seznam obrázků.....	62
	Seznam tabulek.....	63
	Seznam příloh.....	63

Seznam použitých značek a symbolů

HSC	-	High speed cutting
CNC	-	Computer numerical control
HSK	-	Hohl Schaft Kegel
R_z	-	Výška nerovnosti profilu
R_a	-	Střední aritmetická úchylka profilu
G 6,3	-	Přesnost vyvážení
$\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$	-	Počet otáček za minutu
Obr.	-	Obrázek
mm	-	milimetr
μm	-	Mikrometr
ISO	-	International organization for standardization
1 x D	-	Obráběcí nástroj v hloubce jednoho násobku svého průměru

1 Úvod

Tato diplomová práce se zabývá rozbořem upínání obráběcích nástrojů do různých upínačů a také její házivosti. Házivost nástroje je jednou z nepříznivých vlastností upínačů nástrojů. Tato házivost může do jisté míry způsobit nepřesnosti během obrábění součástí. V teoretické části diplomové práce jsou popsány základní typy upínačů nástrojů a jejich využití v praxi. Dále je v této práci zmíněn princip upínání a možné nepřesnosti, které mohou vzniknout během upínání nástroje. Důkladněji jsou rozepsány ty upínače, které se využívají nejčastěji v praxi. Zbylé typy používaných upínačů jsou popsány více obecně. Dále je možno se v diplomové práci dočíst něco o házivosti nástrojů, dále také, jak je možno tuto házivost změřit a jaký vliv má házivost na samotné obrábění součástí. Diplomová práce má také svou praktickou část. V této části bylo cílem vyzkoušet na třech vybraných typech upínačů a na jednom typu nástroje házivost a také přesnost obrábění. Pro experiment byl zvolen klasický kleštinový upínač, hydraulický upínač a tepelný upínač. Tyto upínače byly osazeny sedmi břitou frézou ze slinutého karbidu o průměru 6 mm od firmy Iscar. Pro všechny typy upínačů byly v CNC programu nastaveny stejné řezné parametry. Experiment se prováděl do materiálu S355J2 + N. Použitý stroj se nachází v laboratoři katedry 346. Jedná se o pětiosé obráběcí centrum DMG Mori DMU 50. Experiment spočíval v profrézování materiálu souběžnými drážkami, který byl nakloněn o úhel $2,8624^\circ$. Toto naklopení materiálu respektive stolu obráběcího stroje se uskutečnilo z důvodu, aby nástroj zajížděl do materiálu v hloubce 6 mm a vyjížděl z materiálu v hloubce 12 mm. Při začátku frézování se tedy nástroj nacházel v hloubce 1 x D a na konci drážky 2 x D. Pro frézování drážek byly také zvoleny různé strategie frézování. Po vyfrézování drážek nastává proměření rozměrů drážek a následné vyhodnocení experimentu.

2 Teoretický rozbor zvyšování přesnosti frézování volbou upínače

Při dnešních vysokorychlostních strojích pro obrábění je nutné, aby zvolené upínače pro dané obrábění byly vždy na sto procent spolehlivé z důvodu vysoké přesnosti dané obráběné součásti. Dále je také důležité, aby daný upínač nástroje byl co nejpřesnější a nedocházelo k velké házivosti a tím spojených nepříznivých vibrací jak před obráběcím cyklem, tak i během samotného obrábění součásti. Proto při volbě daného upínače je nutno přihlédnout na jakém stroji bude obrábění probíhat, a také je nutné přihlédnout jakým nástrojem a do jakého materiálu bude dané obrábění probíhat. Na trhu je dnes totiž velký sortiment upínačů obráběcích nástrojů od různých firem. Je ale nutno, si vždy dobře zvolit a vyhledat jaké nám daný upínač od dané firmy poskytne obráběcí schopnosti pro naše efektivní obrábění. Ne malý vliv na házivost nástroje má i volba upínací části do vřetena stroje. Přesnost se bude lišit i s ohledem na zvolený typ upínání jako je kužel ISO, HSK kužel, Capto a další. Také je důležité zvolit vhodně typ upínání nástroje. Musí se nejčastěji zvolit mezi kleštinovým upínáním, hydraulickým upínáním nástroje nebo v dnešní době již velmi rozšířené tepelné upínání nástroje.



Obr. 1 Druhy upínačů nástrojů ¹

2.1 Typy upínačů

2.1.1 Kleštinový upínač



Obr. 2 Kleštinové upínače ²

O kleštinovém upínači by se dalo říct, že je asi nejčastějším upínačem nástrojů ve strojírenské praxi. I když v dnešní době je tento typ upínače nejčastěji nahrazován přece jen přesnějšími upínači, jako jsou upínače nástrojů hydraulické a tepelné. Upínání nástrojů v tomto typu upínače probíhá pomocí kleštiny určené k tomuto upínači a také pomocí matice, která je součástí kleštinového upínače. U těchto upínačů je velice důležité, aby dosedací kuželové plochy byly bez nečistot a poškození. Tyto vady by měly za následek velmi nepřesné upnutí a s tím spojenou velkou házivost nástroje. Musíme také dbát, aby při upínání nástroje byla kleština vtahována kolmo v ose upínače. Pokud tomu tak není, nastává při upnutí velká házivost. Tato házivost se pak dále může projevit na nepřesnosti při obrábění. Eliminace nepřesného upínání nástroje se snaží u kleštinových upínačů výrobci řešit úpravami na utahovací matici. Tímto by se měla velmi značně snížit házivost a případné vibrace během obrábění. Tento typ upínačů byl a stále ještě je nejvíce rozšířeným upínačem na klasických konvenčních frézkách. Ale stále je možno tento typ upínače shledávat na CNC obráběcích centrech, i když je často nahrazován přesnějšími typy upínačů. Ale tento typ upínačů je stále v mnohých případech nenahraditelný a velmi používaný.

2.1.2 Hydraulický upínač



Obr. 3 Hydraulický upínač ²

Do hydraulického upínače upínáme nástroj pomocí zvyšování tlaku oleje v dutině hydraulického upínače. Tento tlak zvýšíme pomocí pístu, který se nachází na těle upínače otáčivým pohybem a tím způsobeným posuvem pístu v dutině upínače. Za tohoto tlaku dojde k částečné deformaci dutiny hydraulického upínače. Vznikem této deformace dojde k přenesení upínací síly na nástroj přes kleštinu, která je vložena do dutiny hydraulického upínače. Tyto kleštiny jsou odlišné od klasických klestín používaných v kleštinovém upínači s mechanickým dotažením upevňovací matice. Tyto kleštiny nelze použít v jiných typech upínačů. Tento typ upínačů vyrábí řada firem jako je Sandvik, Schunk, TaeguTec a další. Je proto vždy potřeba důkladně projít parametry daného upínače od dané firmy a zvolit ten, který je pro naši aplikaci nejvhodnější. Mezi výhody tohoto upínače patří vysoká přesnost, velmi pevné upnutí nástroje, jednoduchá výměna nástroje a kleštiny a vysoká tuhost upínače během obrábění. Tyto upínače lze použít jak na klasických konvenčních frézkách, tak i na vysokorychlostních simultánně řízených víceosých frézovacích centrech.

2.1.3 Tepelný upínač



Obr. 4 Tepelný upínač ²

Jako jedny z nejpresnějších upínačů nástrojů můžeme stanovit tepelné upínače. Tyto upínače mají jednoznačnou výhodu toho, že pro upnutí nástroje do upínače není zapotřebí kleštin. Upnutí nastává rovnou mezi nástrojem a tělem tepelného upínače. Tím pádem se dá eliminovat nepřesnost mezi nástrojem kleštinou a upínačem. Jsme tak schopni daleko zpřesnit samotné cykly obrábění. Tento typ upnutí nástroje nám také dovolí používat daleko větší otáčky na vřetenu stroje. Tyto otáčky jsou především důležité při dokončování zápustek a forem. U tohoto dokončování se totiž používají nejčastěji kulové frézy malých průměrů. S tohoto důvodu potřebujeme vysoké otáčky a především dobrou pevnost upnutí nástroje během procesu obrábění. K upnutí nástroje dojde po místním řízeném ohřevu dříku tepelného upínače. Po tomto ohřevu se zvětší vnitřní průměr dříku vlivem ohřevu, a lze tak do otvoru tepelného upínače vsunout obráběcí nástroj. Po vložení nástroje nastává naopak ochlazování dříku tepelného upínače. Ochlazováním dojde ke smrštění dříku na původní velikost a tím i k pevnému upnutí nástroje v upínači. Nevýhodou těchto upínačů může být, že pro každý průměr nástroje je nutný jeden upínač. Nedají se zde upínat nástroje s různými průměry určitého rozsahu jako u hydraulických nebo kleštinových upínačů nástrojů. Nepoužívají se zde totiž kleštiny. Tyto typy upínačů se používají především v CNC obráběcích centrech a pro vysokorychlostní obrábění, kde používáme vysokých otáček a posuvů nástroje.

2.1.4 Upínání nástrojů do tepelných upínačů



Obr. 5 Přístroje pro upínání nástrojů ³

Upínání nástrojů v tepelných upínačích prošlo celou řadou úprav a vylepšení. Tyto vylepšení se tvoří z toho důvodu, aby výměna nástroje v tepelném upínači byla co nejjednodušší a pro obsluhu bezpečná. U dnešních moderních strojů probíhá výměna nástroje zhruba kolem 30 vteřin od vložení nástroje do držáku a spuštění ohřevu, až po následné dochlazení držáku. Starší typy strojů pro ohřev tepelného upínače mívají malé výkony. To zapříčiní delší ohřívací čas, aby došlo k dostatečnému roztažení otvoru a tím možné vsunutí nástroje na přesnou pozici. Dále také staré typy ohřívacích zařízení neměly dochlazování upínačů. To zapříčinilo prodloužení doby, než bylo možno upínač s nástrojem po výměně nástroje použít. Tento jev je eliminován novými typy kombinovaných přístrojů k výměně nástroje v tepelném upínači. V dnešní době už přístroje jsou schopny samostatně navolit dle typu upínače dobu ohřevu. Tím se zkrátí doba tepelného namáhání upínače a především zkrátí doba výměny nástroje. ³

2.1.5 Typy upínacích kleštín

a) Kleštiny pro mechanické upnutí



Obr. 6 Kleštiny upínané pomocí kuželové plochy²

Typ kleštín na obrázku č. 6 se využívá pro kleštinové upínače nástrojů. V jiných typech upínačů se tyto redukční kleštiny nedají využít. Výhodou kleštinových upínačů je možnost pro jednu velikost upínače měnit v určitém rozsahu více průměru nástrojů. Tuto praktiku lze využít i u hydraulických upínačů. Vlivem kleštiny a její nesprávné montáže může dojít ke zvýšení házivosti a tím i nepříznivým jevům při obrábění. Kleštiny je potřeba uchovávat konzervované a při montáži se musí důkladně očistit od olejů a nečistot, které by mohly zapříčinit další nepřesnosti v upnutí nástroje. Jakékoli poškození funkčních částí není přípustné a tak je nutno takovou kleštinu vyřadit.

b) Kleštiny pro hydraulický upínač

Tento typ redukčních pouzder, který je možno vidět na obrázku č. 7 se využívají v hydraulických upínacích nástrojů. Nedají se jako klasické kleštiny pro kleštinové upínače využít v jiném typu upínače. Můžeme zde zase v jednom upínači upnout v daném rozsahu různé průměry nástrojů. Redukční pouzdra je opět potřeba uchovávat konzervované a v čistotě. Před samotným upínáním nástroje je nutno pouzdro zbavit všech zbylých nečistot. Tyto nečistoty by mohly mít za následek zvýšení házivosti po upnutí nástroje. Jakékoliv

poškození na funkčních částech pouzdra je nepřípustné a je nutno toto pouzdro vyřadit z výroby



Obr. 7 Kleštiny pro hydraulický upínač ²

2.1.6 Další typy upínačů nástrojů

V předchozí kapitole byly zmíněny upínače obráběcích nástrojů, které jsou v praxi nejčastěji využívány pro obrábění především v CNC obráběcích strojích. Zmíněné upínače se totiž vyznačují velkou přesností a spolehlivostí upnutí i při vysokorychlostním obrábění. Je zde ale nutno zmínit, že sortiment upínačů nekončí jen na oněch zmíněných upínačích. V praxi se pro obrábění využívají i další varianty upínačů na různé typy obráběcích nástrojů a také na různé typy aplikací ve výrobě.

Další typy upínačů:

- Frézovací trny
- Trny pro vrtací hlavy
- Upínače silové
- Upínače typu weldon

- Zrychlovací hlavy
- Adaptéry pro závitníky
- Redukce
- A další

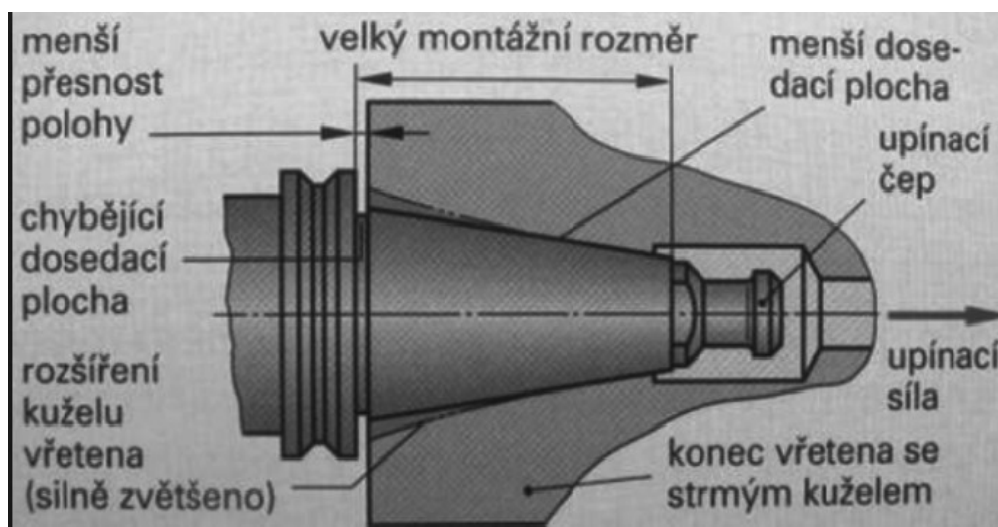


Obr. 8 Další typy upínačů ²

3 Upínací části do vřetene strojů

Velký podíl na přesnosti obrábění má také typ upínací části do vřetena stroje. Výrobci mají ve svém sortimentu více typů těchto upínání a každý má různé výhody a nevýhody vůči ostatním. Typy upínacích částí se liší tvarem i pevností a stabilitou upnutí. V minulosti se nejvíce využívaly morse kužely. Toto upnutí, ale v budoucnu postupně nahradily další mnohem efektivnější typy upínání. Mezi jedno ze základních patří takzvaný ISO kužel. Tento typ upínání se využívá dodnes. Je vhodné především pro CNC obráběcí stroje, které nevyužívají vysokorychlostního obrábění. Z důvodu své konstrukce, kdy tvarový styk s vřetenem je pouze na kuželové části, ale v axiálním tvaru se upínač nedotýká čela vřetene, to by mohlo mít za následek nestálost frézování při vysokých rychlostech. Ale pro klasické konvenční obrábění je v mnohých případech stále tento ISO kužel velice výhodný a využívaný. Asi v dnešní době čím dál více využívaný typ upínání je HSK kužel. Tento typ kužele je již vhodný pro vysokorychlostní obrábění. Svou konstrukcí a stylem upínání dokáže přenášet velké krouticí momenty a dovolí také daleko větší rozsah otáček vřetene. HSK kužel oproti ISO kuželu při upnutí dosáhne tvarového styku s vřetenem jak v kuželové části, tak i v axiálním směru s čelem vřetene. Toto upnutí zajistí větší tuhost při obrábění jak v ohybu, tak i ve snížení případných vibrací a házivosti upínače a také nástroje. Tento typ kužele je svou konstrukcí oproti ISO kuželu také menší a tím pádem jsou zde menší nepřesnosti s nevyvážením a s tím spojených vibrací při obrábění. Jako třetí typ upínání bych zmínil systém Capto od firmy Sandvik Coromant. Tento typ upínání je vhodný jak do soustružnických center, tak i do frézovacích center, nebo v dnešní době kombinovaných multifunkčních center. Systém upínání je svými rozměry poměrně malý proto můžeme na tento typ upínače upnout i soustružnické nože nebo frézovací hlavy do zmíněných multifunkčních strojů. Svým tvarem upínací části do vřetena zajišťuje velmi tuhé a přesné upnutí. Systém Capto dosahuje velmi dobré stability při obrábění, nízké vibrace a házivost. Tento systém je schopen přenosu velkých krouticích momentů. Výměna nástroje ve stroji je velice rychlá a proto je možno snížit výrobní časy ve výrobě. Tyto zmíněné upínače jsou na trhu nejrozšířenější. V praxi můžeme nalézt další typy upínačů, ale ty nejsou už tak rozšířené, jako zmíněné v této kapitole.

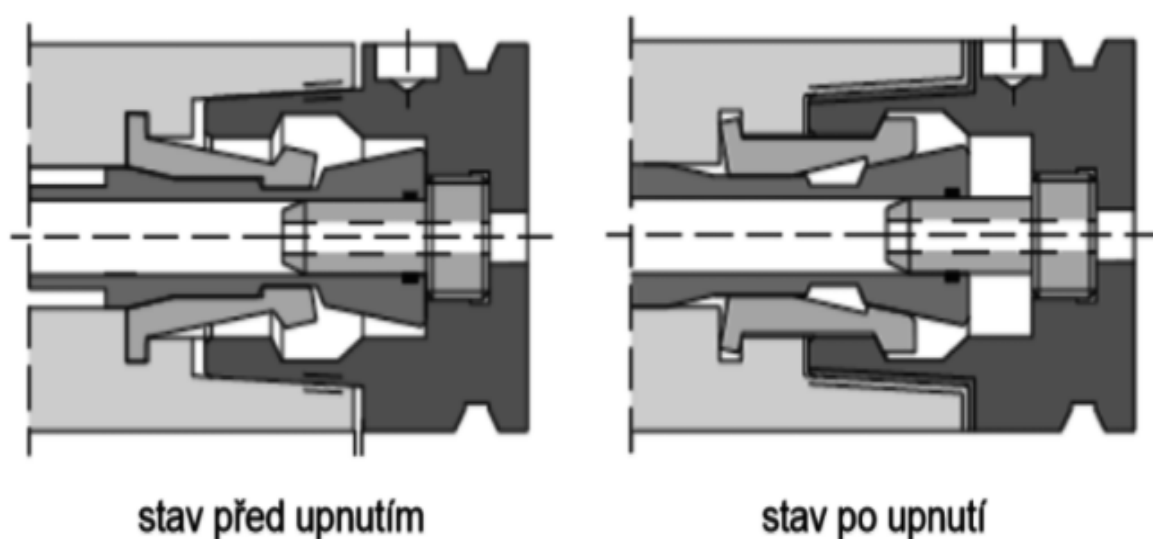
3.1 ISO kužel



Obr. 9 ISO kužel upnutý ve vřetenu ⁴

Je to jeden z nejstarších typů upínání nástrojů do vřetena. Tento systém byl zaveden již v roce 1927 v USA. Byl zaveden ke sjednocení různých typů kuželovitosti upínačů. Také je tento kužel náhradou za morse kužely ve větších frézovacích strojích. Tento kužel je normovaný ve velikostech od ISO 50 až po ISO 80. ISO kužely nejsou samosvorné, a proto nepřenesou svou kuželovou plochou krouticí moment. Pro otáčivý pohyb upínače je zapotřebí dvou vyfrézovaných drážek na přírubě upínače, které po upnutí zapadnou do kamenů na vřetenu. Po tomto zapadnutí do kamenu je možno vykonávat krouticí moment potřebný pro frézovací operace. Nástrojové držáky typu ISO mají pouze styk s vřetenem na kuželové části upínače. V axiálním směru je po upnutí do vřetena malá mezera, a tudíž není zde tak pevné upnutí držáku nástrojů. Tyto držáky se s tohoto důvodu nevyužívají na vysokorychlostní obrábění. Je zde z důvodu konstrukce omezený rozsah otáček vřetena. Vždy záleží na vyvážení daného držáku. Při špatném vyvážení by byla ve vysokých otáčkách zapříčiněná velká házivost a s tím i spojené vibrace celého stroje. Vtažení držáku nástroje je u CNC strojů vyvoláno zařízením ve vřetenu, které vtáhne upínací čep směrem dovnitř a po celou dobu obrábění až do výměny držáku se toto uchycení za čep nesmí uvolnit. ⁴

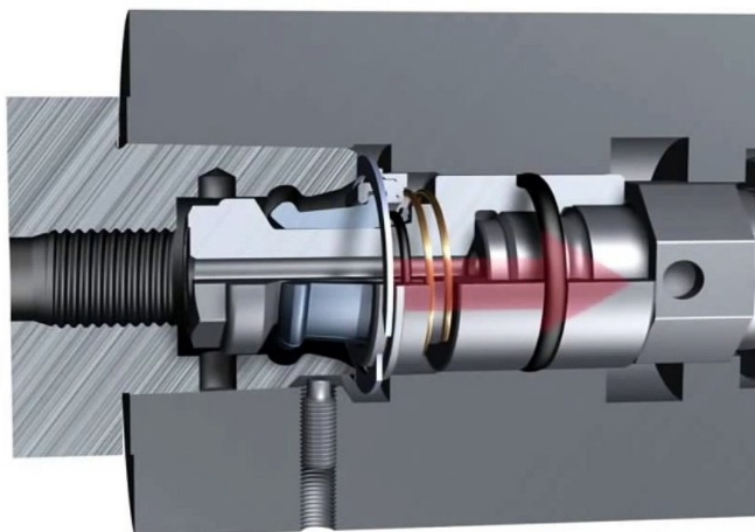
3.2 HSK Kužel



Obr. 10 HSK kužel před a po upnutí ⁴

Nástrojové držáky, které jsou osazený spojovací částí HSK kuželem se mohou využít pro upevnění držáku do stroje, kde je automatická výměna nástroje, ale i tam, kde je ruční výměna nástroje. U HSK kuželu je dosažena velmi velká tuhost a přesnost. Tato přesnost je svou konstrukcí zachována jak v axiálním, tak i v radiálním směru. Velká výhoda konstrukce je i daleko menší hmotnost než u ISO kuželu. Jako další výhodu je možno zmínit, že při upnutí dojde ke styku dutiny vřetena a držáku jak v axiálním tak i radiálním směru. To zapříčiní daleko větší stabilitu obráběcího procesu. Je zde možno využívat i velmi vysokých otáček a průběh obrábění bude více stabilní než u ISO kuželu. Tento typ upínání je možno využívat jak ve frézovacích obráběcích centrech, tak i v soustružnických centrech a v neposlední řadě i na kombinovaných soustružnicko - frézovacích obráběcích centrech. ⁴

3.3 Sandvik coromant Capto



Obr. 11 Systém upínání Capto²¹

Tento typ držáku nabízí tři systémy v jednom. Jednou z nich je rychlo výměnná nástrojového držáku což zvyšuje využití stroje. Další výhodou tohoto systému je uchycovací tvar přímo ve vřetenu stroje. Je to především vhodné do víceúčelových strojů, obráběcích center upravených pro soustružnické operace. Toto uchycení zvyšuje také stabilitu při obrábění a je velmi univerzální. Třetí výhoda tohoto upínače je možnost prodloužení redukčních adaptérů bez ohledu na typ rozhraní stroje a sestavení nástroje s různou délkou a charakteristikou tvaru. Všechny tyto výhody jsou spojeny také s vysokou přesností a stabilitou při obrábění. Můžeme snížit skladové zásoby na minimum. Je zde také kratší doba na seřizování upínače. Tento typ upínání má možnost přenosu velkých kroutících momentů i přes velké krouticí momenty má velice dobrou tuhost v ohybu. Výměna nástroje je velice rychlá. Upínač je také opatřen možností vnitřního chlazení. Vyváženost a soustřednost tohoto typu upínání je velmi vysoká. Systém Coromant Capto jsou vhodné pro všechny typy obráběcích strojů ať už soustružnické nebo frézovací centra. Tento systém upínání se dodává v šesti velikostech od rozměru 32 až po 100 mm.²¹

4 Házivost a vyváženost nástrojů

Upínače nástrojů jsou velmi důležitým mezičlánkem mezi vřetenem a nástrojem. Aby bylo možno dosáhnout požadovaných tolerancí obrobků dle výkresové dokumentace je nutné, aby upínače splňovaly několik aspektů. Tyto aspekty pomohou zvýšit přesnost obrábění a také zvýší životnost nástroje.



Obr. 12 Přístroj pro vyvažování upínačů nástrojů ⁵

4.1 Požadavky na upínače nástrojů

Upínač nástrojů by měl zajistit správnou polohu nástroje vůči souřadnému systému stroje. Tato poloha by měla být zajištěna i ve velkých otáčkách s přenesením točivého momentu a řezné síly. Je také důležité, aby vyrobený upínač svými rozměry neomezoval značně obráběcí prostor. Dalším důležitým aspektem jsou vibrace upínače. Je velmi důležité, aby výrobci volili vhodné konstrukce upínačů, které co nejmenším podílem vedou k vibracím při obrábění. V dnešní době by také měly upínače obráběcích nástrojů být schopny dopravit řeznou kapalinu svým vnitřním prostorem. V neposlední řadě je důležité, aby každý s těchto upínačů splňoval vysokou bezpečnost při práci. Upínače jsou mnohdy podrobovány velmi vysokým otáčkám. V těchto otáčkách až $120000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ jsou na upínače vytvářeny velké točivé momenty a velké řezné síly.

Velký podíl má také odstředivá síla. Upínač tudíž musí být na sto procent spolehlivý. Destrukce upínače během obrábění by mohla mít za následek velké škody, jak na opracovávaném dílu, tak i na samotném obráběcím stroji.⁶

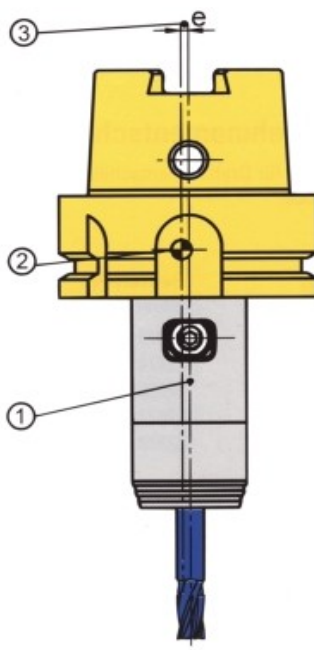
4.2 Přesnost polohy nástroje

Nepřesnost polohy nástroje vůči osy rotace je jeden z velmi nepříznivých jevů. Toto vychýlení může způsobit nepřesnosti při obrábění a také může způsobovat nepříznivé vibrace během obrábění. Proto je vždy nutné volit vhodný typ upínačů pro daný typ obrábění. Typem konstrukce upínačů jsou dosaženy různé velikosti nepřesnosti upnutí nástroje. Jako příklad je možno zmínit typ upínání jako je tepelný upínač, hydraulický upínač nebo kleštinový upínač. Tyto typy upínačů upevňují nástroj souměrně po obvodu. Zde prakticky pokud nejsou plochy poškozeny nebo znečištěny jak v upínači, tak na nástroji nehrozí zde vychýlení mimo osu rotace. Mnohem horší typ upnutí je například do upínače weldon. Zde je nástroj upevněn z boční strany stopky na vyfrézovanou plochu pomocí šroubů. Tyto šrouby přitlačí po dotažení nástroj k jedné straně dutiny upínače. Zde tedy je velká pravděpodobnost, že osa rotace vřetena potažmo upínače bude odlišná od rotace nástroje. Vznikne zde takzvaná excentricita. Tato nepřesnost může značně ovlivnit vibrace a házivost při obrábění. Ze základních poznatků vyplývá, že je nutno volit dle obráběcích parametrů a požadované přesnosti vhodné typy upnutí nástroje.⁶

4.3 Vyvažování upínačů

Vyvážení nástrojových upínačů je velmi důležitá operace před samotným použitím v obráběcím stroji. Vibrace způsobené nevyvážením upínače nástrojů totiž velmi ovlivňují samotné obráběcí procesy a také do jisté míry ovlivňují obráběcí stroj. Velké vibrace mohou poničit vřeteno obráběcího stroje. Dále mají nevyvážené upínače nástrojů vliv na životnost samotných obráběcích nástrojů. Nástroje vyrobeny ze slinutých karbidů jsou na chvění během obrábění dosti citlivé. Vibrace způsobené nevyvážením většinou končí destrukcí obráběcích nástrojů během obrábění. Vyvažování upínačů nástrojů probíhá ve vyvažovačkách a k vyvážení dojde při odebrání materiálu v daném místě na upínači, které určí software vyvažovacího stroje. Vyvažování nástrojů se také hodnotí dle normy

DIN ISO 1940. Jakost vyvážení se udává ve stupních G a je vztažena na otáčky a velikosti rotující hmoty. Ideální nejlépe nulové vyvážení nelze v praxi dosáhnout je nutno pracovat s takzvanou zbytkovou excentricitou. Čím vyšší je hmota otáčející se tělesa, tím je z pravidla vyšší i zbytková excentricita. Pro jednodušší orientaci jaký upínač můžeme použít pro dané obrábění uvádějí výrobci k danému upínači stupeň G v jakém je daný upínač vyroben. Daná přesnost vyvážení bude mít i vliv na výslednou cenu upínače nástrojů. V praxi je vždy nutno volit mezi kvalitou upínače a ekonomické efektivnosti

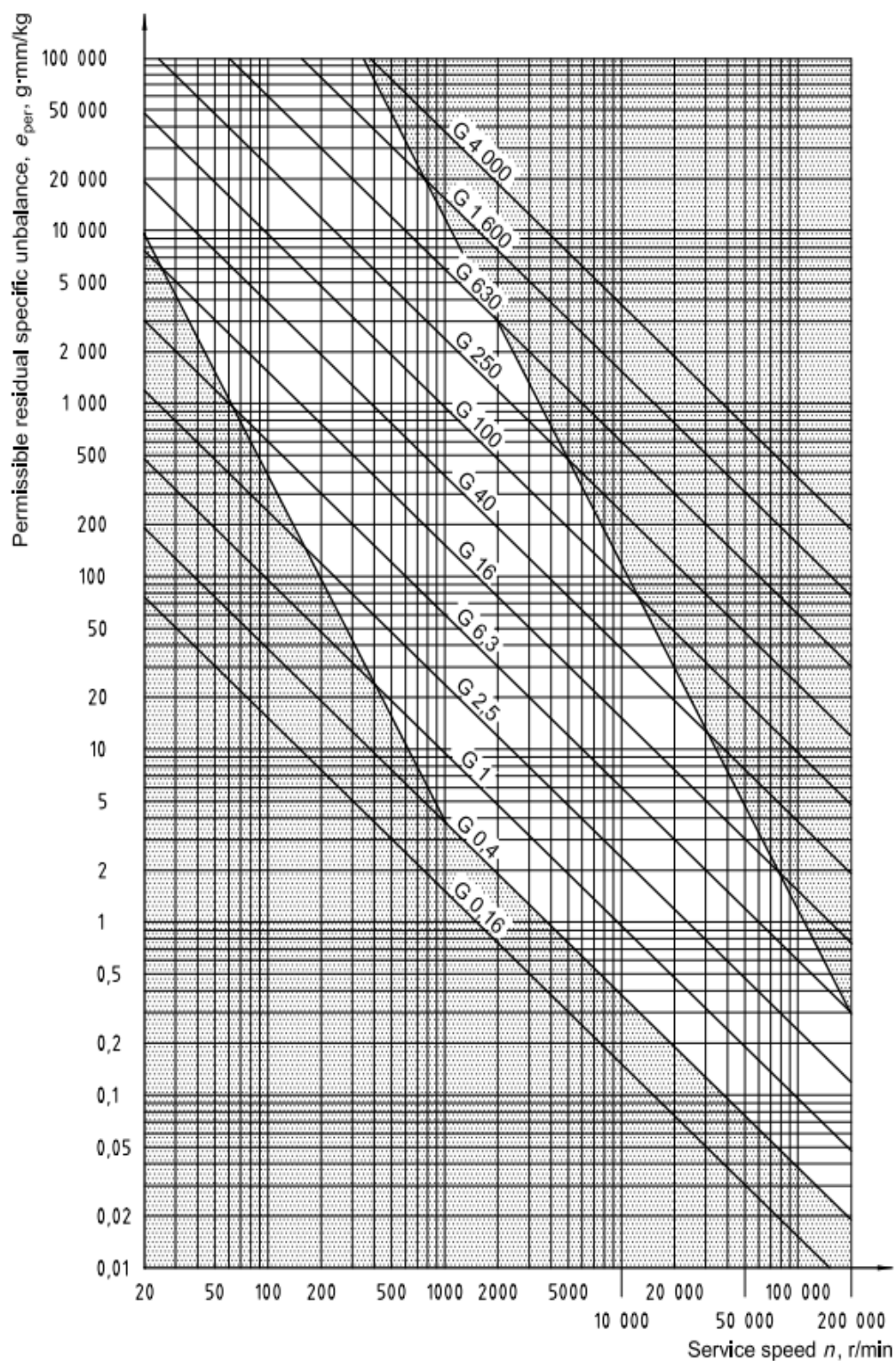


Obr. 13 Nevývaha upínače s nástrojem ⁶

1, Poloha osy rotace; 2, Těžiště; 3, Vzdálenost osy rotace od těžiště

výroby. Vyvažováním je cílené snižování vibrací a s tím spojené házivost při obrábění, ale z praxe je známo, že vyvažování je smysluplné řešit v případech, kdy pracovní otáčky vřetena budou dosahovat více jak $8000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Vyvažování u upínačů, které jsou delší jako dvojnásobek průměru a vysokých otáček od $20\,000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a více je vhodné provést vyvažování ve dvou rovinách (dynamické). Toto vyvažování totiž respektuje nevyvážky podél celé osy rotace. ⁵

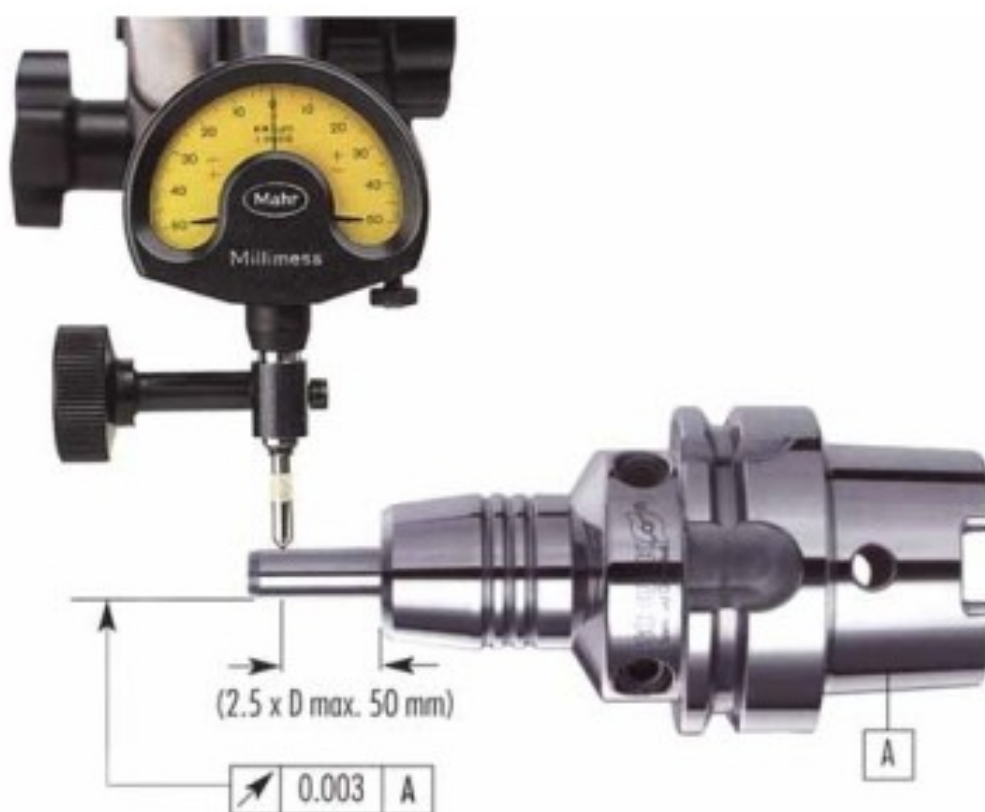
4.4 Graf jakosti vyvážení upínačů



Obr. 14 Vztah mezi otáčkami a nevývahou pro danou jakost upínače¹⁰

4.5 Měření házivosti upínačů

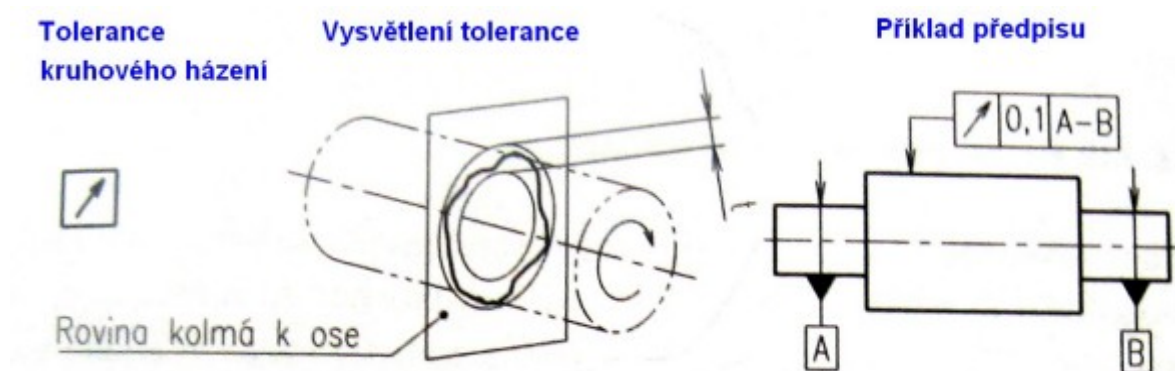
Měření házivosti upínačů se nejčastěji provádí pomocí číselníkového úchylkoměru. Toto měření probíhá ve zkušebnách nebo přímo na výrobních pracovištích. Upínače mohou být upnuty jak ve vřetenu stroje, tak i ve speciálních upínacích stolicích nebo přípravcích. Proměření házivosti je tedy v praxi velmi jednoduché a je možno už před samotným obráběním zjistit případný problém v upnutí nástroje nebo problém v samotném upínací nástroje. Tímto proměřením je možno předejít následné nepřesnosti při obrábění daného výrobku. Proměřením a případným zjištěním nějakého problému je možno také zamezit poškození vřetene a potažmo i celkového obráběcího stroje vlivem vzniklých vibrací a nežádoucích řezných sil.



Obr. 15 Ukázka měření házivosti ⁶

Definice obvodové házivosti

Kruhové házení rozdělujeme na obvodové a čelní. Kruhové obvodové házení je omezeno dvěma soustřednými kružnicemi vzdálenými od sebe o hodnotu tolerance házení t ($t = 0,1 \text{ mm}$). Středů kružnic leží na základní ose (společná osa A – B).¹⁹



Obr. 16 Obvodové házení¹⁹

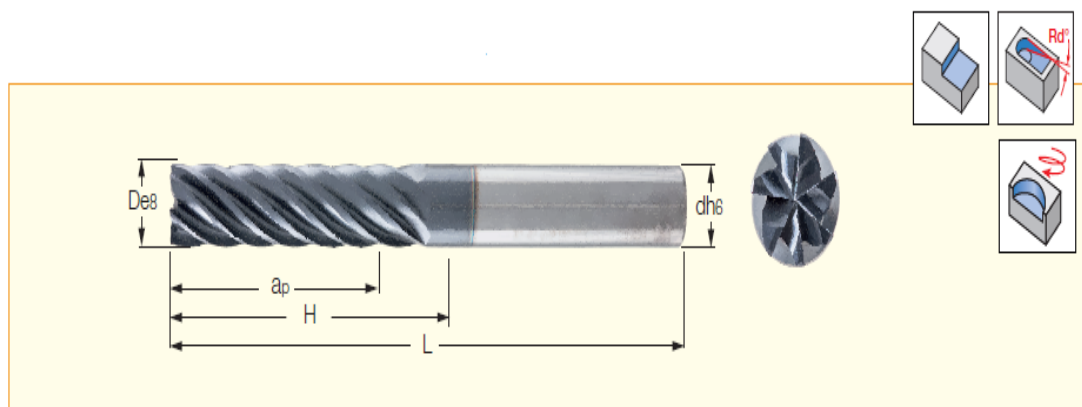
5 Experimentální část

Účelem experimentu bylo zjištění, zda při stejných zvolených řezných podmínkách bude na daných obráběných plochách změna rozměrové přesnosti a drsnosti vzhledem k použitému upínači nástrojů. Na tento experiment byly využity 3. typy upínačů z laboratoře katedry. Jednalo se o kleštinový upínač, hydraulický upínač a upínač tepelný. Jako obráběcí nástroj byla zvolena fréza od firmy ISCAR. Pro tento experiment byly zakoupeny tři kusy této frézy. Pro daný nástroj byly navoleny řezné podmínky v toleranci dle příslušných doporučených hodnot. Experiment byl prováděn ve školní laboratoři katedry na pětiosém frézovacím centru DMG Mori DMU 50. Materiál pro frézování byla konstrukční ocel S355J2 + N. Tato ocel byla před samotným obráběním upravena na požadovaný rozměr v přípravných dílnách katedry. Po opracování polotovaru pro obrábění byla stanovena šířka drážek, které se do polotovaru frézovaly. Rozměr drážek byl stanoven na šířku $10_{-0,2}^0$ mm a žebro mezi sousedními drážkami se stanovilo na tloušťku $2_0^{+0,2}$ mm. Dále bylo domluveno, že frézované drážky budou frézovány plynule pod úhlem 2.8624° . Tento úhle zajistil, že na začátku byl nástroj v materiálu v hloubce $1 \times D$ a na konci drážky byl nástroj v hloubce $2 \times D$. V délkových jednotkách 6 mm na začátku drážky a 12 mm na konci frézované drážky. Pro obrábění drážek byly zvoleny 3 typy strategií obrábění. Strategie byly vybrány s programu Mastercam a také z programu imachining od firmy Solidworks. Mezi strategie patřily frézování ve tvaru hřebene, obrábění ve tvaru trochoidy bez zpětného odjezdu v ose Z a poslední strategii byla trochoida avšak s odjezdem v ose Z po daném úběru materiálu. Po navržení všech těchto parametrů a strategií bylo možno zahájit rovnou samotné frézování. Na konci frézování byly také pořízeny snímky z mikroskopu opotřebovaného řezného nástroje. Po obrobení daného polotovaru se následně proměřila drsnost na dnu drážek pomocí měřicího přístroje na měření drsnosti. Drsnost byla měřena pouze na dně drážek, protože boky žeber byly vždy obrobeny dokončovacím cyklem. S tohoto důvodu by bylo zbytečné měření drsnosti na bocích žeber potažmo drážek. Dále byly proměřeny šířky drážek pomocí digitální posuvky a také tloušťka daných žeber mezi drážkami pomocí talířkového mikrometru. Po tomto proměření přišlo na řadu vyhodnocení daného experimentu.

5.1 Použitý nástroj pro obrábění

Nástroj pro obrábění daného materiálu byla vybrána a zakoupena fréza od firmy Iscar. Označení frézy je ECL - H7 - CF. Zvolená fréza má průměr 6 mm a disponuje sedmi obráběcími břitů. Velký počet břitů by měl zajistit větší tuhost a přesnost během obráběcího cyklu. Také by fréza měla přinést snížení možných vibrací. Po obvodu frézy se nachází také sedm proměnlivých šroubovitých drážek pro odvod třísek během obrábění. Odvod třísek je při tomto experimentu velmi důležitý z důvodu malého prostoru kolem obráběcího nástroje v drážce. Fréza je vyrobená s karbidů a svou pevností je vhodná pro vysokorychlostní i trochoidní obrábění. Je vhodná jak pro hrubovací operace, tak i pro dokončovací operace obrábění. Při maximálním zatížení frézy je možno s touto frézou odebrat třísku až $0,25 \times D$ a to za stabilního chodu a bez vibrací. Pro tento experiment byla zvolena hodnota bočního přísuvu na 1mm. S danou frézou je možno odebírat třísku až v hloubce $4 \times D$. S danou frézou je možno obrábět principem, že na jedné straně bude nástroj například v hloubce $2 \times D$ a na konci obráběné plochy bude v hloubce $3 \times D$. Fréza je vyrobená z materiálu IC902 (Jedná se o jemnozrnný karbid) a je potažená povlakem TiAlN metodou povlakování PVD. S frézou je možno v praxi obrábět i kalené materiály.

ECL-H7-CF



Obr. 17 Nástroj použitý při experimentu ⁷

Tab. 1 rozměrové parametry nástroje

Typ frézy	D[mm]	D[mm]	Ap[mm]	L[mm]	břity
ECL - H7 - CF	6	6	24	70	7

Tab. 2 Doporučené posuvy frézy výrobcem

Typ frézy	Dokončování [mm]		Hrubování[mm]	
	Fz _{min}	Fz _{max}	Fz _{min}	Fz _{max}
ECL - H7 - CF	0,02	0,04	0,08	0,15

Tab. 3 Skutečné parametry využívané při hrubování

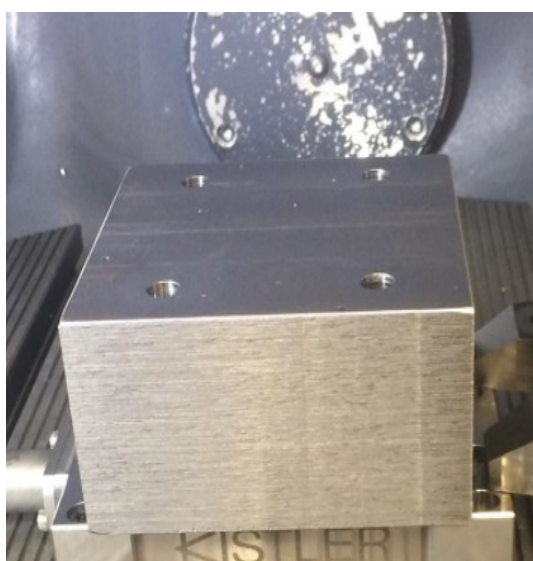
Průměr frézy	Otáčky vřetene	Řezná rychlost	Axiální hloubka řezu	Radiální hloubka řezu	Posuv na zub
d	n	v _c	a _p	a _e	f _z
[mm]	[min ⁻¹]	[m·min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]
6	10610	200	1 až 2D	1	0.1
Procesní kapalina			Blasocut 2000 CF, Art. 875-12		
Strategie			Sousledné frézování		

Tab. 4 Skutečné parametry využívané při dokončování

Průměr frézy	Otáčky vřetene	Řezná rychlost	Axiální hloubka řezu	Radiální hloubka řezu	Posuv na zub
d	n	v _c	a _p	a _e	f _z
[mm]	[min ⁻¹]	[m·min ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]
6	13262	250	1 až 2D	0,2	0.03
Procesní kapalina			Blasocut 2000 CF, Art. 875-12		
Strategie			Sousledné frézování		

5.2 Obráběný materiál

Jako obráběný materiál pro experiment byla zvolena konstrukční ocel S355J2 + N. Jedná se o ocel s dobrou obrobitelností. Pro experiment byly zhotoveny dva kusy této oceli o rozměrech 120 x 120 x 60 mm. Tyto polotovary byly zhotoveny řezáním na pásové pile a rozměr 60 mm byl dokončen frézováním na přesný rozměr. Po nařezání polotovaru byly zhotoveny 4 otvory o průměru 6 mm a zahloubeny na hlavu imbusového šroubu pro upevnění na dynamometr. Tento polotovar byl připraven pro experiment v laboratořích katedry.



Obr. 18 Připravený materiál upnutý v obráběcím stroji

Přehled vlastností oceli S355J2								1.0577
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel							
TDP	CSN EN 10025-2: 2005							
Dřívější označení	S355J2G4 podle EN 10025: 1990 +A1: 1993; St 52-3 N podle DIN 17100; 11 503 podle ČSN							
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn	Si	P	S	N
	≤ 16	>16≤40	>40 ¹⁾	max.	max.	max.	max.	max.
	0,20 ²⁾	0,20 ⁴⁾	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-
Složení hotového výrobku	0,23 ⁵⁾	0,23 ⁴⁾	0,24	1,70	0,60	0,035	0,035	-
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R _{eH} MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :							
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250
	355	345	335	325	315	295	285	275
	Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :							
	≥3 ≤ 100			> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250		
	470-630			450-600		450-600		
	Minimální tažnost v % (L ₀ = 5.65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm v ⁶⁾ :							
	≥ 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250
	22		21	20		18		17
	Minimální nárazová práce KV (J) při - 20° C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm ^{4),6)} :							
	≤ 150				>150 ≤ 250			
	27 ⁵⁾				27 ⁵⁾			
Maximální hodnota CEV ³⁾	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250	
	0,45		0,47		0,47		0,49 ⁷⁾	

Obr. 19 Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu¹²

5.3 Obráběcí stroj

Pro daný experiment byl využit stroj z laboratoře katedry pětiosé obráběcí centrum DMG Mori DMU 50. Obráběcí centrum se vyznačuje velmi dobrou dynamikou a digitálními pohony ve všech osách. Dále také obráběcí stroj disponuje rychlými posuvy až $30 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a otáčky vřetene dosahují až $18000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Nový typ základní konstrukce zaručuje velkou přesnost a tuhost stroje při obrábění. Obráběcí stroj je také vybaven přídatným chladicím vysokotlakým zařízením pro některé obráběcí aplikace. Dále tento stroj využívá řídicí systém Heidenhain.



Obr. 20 Obráběcí stroj DMG Mori DMU 50 ¹³

5.4 Použité upínače pro obrábění

Upínače pro obrábění daného experimentu byly využity z laboratoře katedry. Pro obrábění byl vybrán kleštinový upínač, kde dochází k upnutí nástroje dotahováním matice. Jako druhý upínač byl použit hydraulický upínač. V tomto upínači dochází k upnutí nástroje pomocí tlaku vytvořeného stačením média uvnitř upínače. A jako třetí upínač byl vybrán tepelný. V tomto upínači dochází k upnutí nástroje vlivem tepelné roztažnosti materiálu. Do všech těchto vybraných upínačů byl upnut stejný nástroj a také byl vysunut vždy ve vzdálenosti 37 mm z místa vetknutí v upínači ven. Při obrábění byl vždy každý z daných upínačů vložen do stroje a naměřen strojem. Jako další krok následovalo proměření házivost nástroje v daném upínači. Měření házivosti proběhl u všech tří upínačů stejně pomocí digitálního úchylkoměru. Po proměření házivosti a zaznamenání dat nastalo samotné obrábění drážek různými strategiemi do připraveného polotovaru. Výběr upínačů závisel také na jakosti vyvážení. Pro náš experiment bylo potřebné, aby výrobce garantoval danou stabilitu v otáčkách do $18000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Tento předpoklad byl velice důležitý z důvodů eliminace vibrací a tím i nepřesnosti výroby při daném experimentu. Zmíněný počet otáček je z důvod maximální rychlosti vřetena daného obráběcího stroje.

a) Kleštinový upínač



Obr. 21 Kleštinový upínač s nástrojem

Kleštinový upínač vybraný s laboratoře katedry byl od firmy Sandvik Coromand. Označení tohoto upínače bylo 392.41014 - 63 32 100B. Jedná se o klasický jeden s nejpoužívanějších upínačů, kde k upnutí nástroje dochází pomocí matice, která svým utažením stlačuje vloženou kleštinu a tím ji deformuje. Upínání nástroje je tedy plně mechanická záležitost. Dále tento upínač disponuje HSK kuželem pro upnutí upínače s nástrojem do vřetena stroje. HSK kužel na daném upínači byl ve velikosti 63. Tento typ kuželu velmi dobře zaručuje stabilitu i při vysokých otáčkách, tak i při samotném obráběcím cyklu, jak klasickém, tak i při vysokorychlostním obrábění.

b) Hydraulický upínač



Obr. 22 Hydraulický upínač s nástrojem

Vybraný hydraulický upínač z laboratoře katedry byl od Německé firmy Schunk. Označení tohoto upínače bylo Schunk Tendo E compact 206406 Ø20 4915. Tento upínač je velmi využívám pro výrobu v praxi a také pro vysokorychlostní obrábění. Upnutí je totiž při zachování čistoty dutiny a pouzdra v upínači velmi pevné. Upnutí nástroje nastává po utažení šroubku, který zmenší vnitřní prostor s hydraulickou kapalinou a stlačí ji. Toto stlačení kapaliny způsobí deformaci dutiny upínače a přes kleštinovou vložku dojde k upnutí nástroje. Dále tento upínač disponuje HSK kuželem. Opět jako u kleštinového upínače se jedná o velmi pevné a přesné upnutí do vřetena stroje. Snižují se tak případné vibrace a nepřesnosti při obrábění. Velikost HSK kuželu byla opět 63.

c) Tepelný upínač Mapal

Třetím upínačem byl nejprve tepelný monolitní upínač od Německé firmy Mapal. Označení tohoto upínače bylo Mapal MTC - HSK - A063 - 06 - 200 - 1 - 0 - A Ø 06 170403 (WP). Tento upínač se vyznačuje především svou úzkou a dlouhou konstrukcí, takže je možno s ním obrábět i hůře dostupné místa. I na tomto upínači se nachází HSK kužel pro upnutí do vřetene obráběcího stroje. Tepelné upínače se vyznačují velmi pevným upnutím nástroje, protože upínání probíhá tepelnou roztažností upínače při ohřevu a následného smrštění při ochlazování. K upnutí dojde pouze kontaktem mezi upínačem a nástrojem. Není zde možnost ovlivnění upnutí například kleštinou a podobně. Tento tepelný upínač musel být po začátku obrábění vyměněn za jiný typ tepelného upínače z důvodu vznikajících vibrací při obráběcím cyklu. Z tohoto důvodu byl tento upínač vyměněn za upínač od firmy Sandvik Coromant.



Obr. 23 Tepelný upínač Mapal

d) Tepelný upínač Sandvik

Tepelný upínač Sandvik Coromant byl v průběhu obrábění zaměněn za tepelný upínač Mapal. Tato výměna nastala z důvodu vibrací při obrábění. Tepelný upínač Sandvik Coromant se vyznačuje o něco mohutnější konstrukcí a je zhruba o 10 mm kratší. Tento upínač je také specifický v tom, že je složen ze dvou částí. A to z upínací části do vřetene, kde je opět HSK kužel o velikost 63 a dále z prodlužovacího dílu pracující na principu tepelného upínače. Tyto dva díly jsou v místě spojení polygonovým tvarem Capto a utažené šroubem, který prochází dutinou upínací části do vřetene. Po spojení a utažení se stal s těchto dvou dílů jeden monolitní upínač nástrojů. Následně byl do upínače upnut nástroj. Označení držáku prodloužení bylo C3 - 390.410 - 63 075C a označení prodlužovacího dílu bylo C3 - 391.19 06 118. Tento krok se ukázal jako vhodný, protože vibrace tvořené tepelným upínačem Mapal zmizely a obrábění daného experimentu mohlo pokračovat dál.



Obr. 24 Tepelný upínač Sandvik Coromant

5.5 Měření házivosti nástroje

Měření házivosti nástroje probíhalo před samotným obráběcím cyklem. Měření házivosti nástroje se uskutečnilo na všech třech zvolených upínačích pro daný experiment. Při upínání nástroje do daného upínače a následně do stroje byl vždy kladen důraz na čistotu povrchu jak nástroje, tak i samotného upínače potažmo kleštin pro hydraulický a kleštinový upínač. Čistým povrchem byly eliminovány další nepřesnosti při měření házivosti nástroje a následným nepříznivým jevům při obrábění. Nástroj pro experiment byl pro všechny tři upínače stejný, jednalo se o již zmíněnou frézu od firmy ISCAR. Při upínání byl nástroj vždy vysunut z upínače o stejnou vzdálenost 37 mm. Po upnutí nástroje a upnutí upínače do stroje a proměření nástroje se již mohlo přejít k samotnému měření házivosti. Každý nástroj v upínači byl proměřen na dvou místech a bylo vždy odečteno deset hodnot házivosti po obvodu nástroje. První měření se nacházelo na válcové části mimo šroubovici ihned pod místem upnutí v upínači. Následně druhé místo bylo již na šroubovici obráběcího nástroje přibližně 5 mm od dolní řezné hrany nástroje. Tyto měření se vždy opakovaly vícekrát. Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do tabulky. Pro měření házivosti nástroje byl použitý digitální číselníkový úchylkoměr Mahr 1086R. Úchylkoměr byl upnut do magnetického kloubového stojánu.

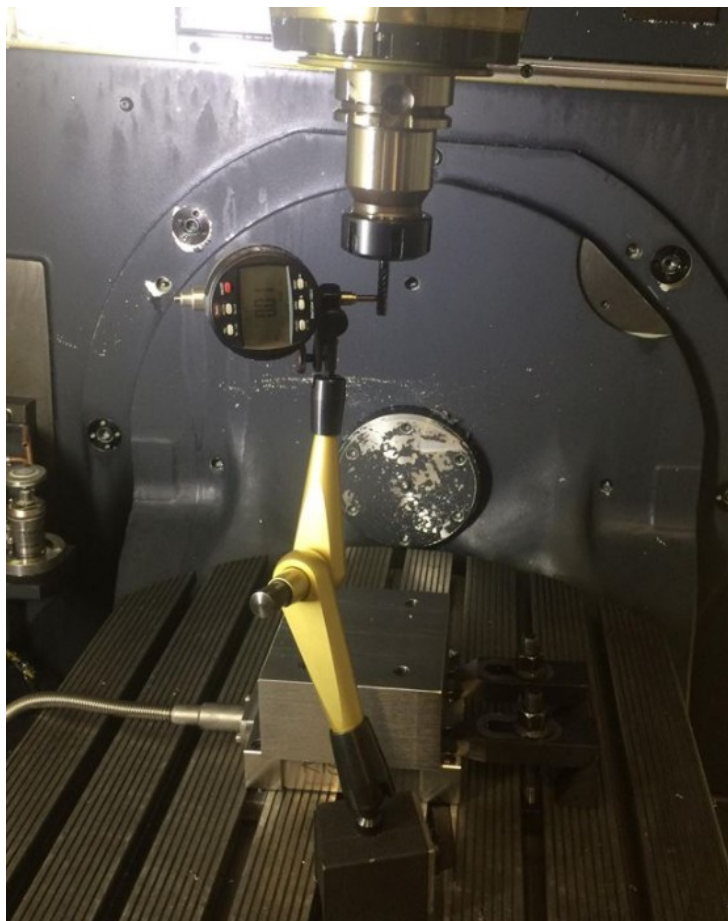


Obr. 25 Digitální úchylkoměr⁹



Obr. 26 Magnetický stojan⁸

Celá měřicí sestava byla poté pomocí magnetu připevněna na pracovní stůl obráběcího stroje a následně ustavena do pozice pro měření házivosti nástroje postupně ve dvou místech. Vzhledem k omezenému dosahu stojáнку od pracovního stolu po vřeteno se vždy najelo osou Z na vzdálenost k měřicí sestavě tak, aby měření mohlo bez problému proběhnout.



Obr. 27 Měření házivosti nástroje

5.6 Průběh obrábění drážek

Po předchozích důležitých okolnostech jako je vybrání nástroje, upínače a také materiálu, bylo možno po proměření házivosti nástroje začít obrábět. Nejprve byl vložen do stroje kleštinový upínač s nástrojem. Jako první strategie bylo frézování v takzvaném tvaru hřebene. Nástroj byl na začátku frézování v hloubce $2 \times D$ a na konci frézované drážky byl vlivem naklonění stolu a úhel 2.8624° v hloubce $3 \times D$. Po vyfrézování první drážky bylo nutné zkontrolovat břity nástroje, protože vytvářený zvuk při obrábění vycházející ze stroje nebyl velmi dobrý. Po kontrole nástroje, který byl značně opotřebován touto strategií se přistoupilo na opatření, že nájezd do materiálu bude v hloubce $1 \times D$ a výjezd nástroje bude vlivem naklonění v hloubce $2 \times D$. I přes toto opatření nebylo obrábění velice vhodné. Vibrace a zvuky tvořené nástrojem při obrábění naznačovaly, že by mohlo dojít k destrukci nástroje. Po následné konzultaci se tedy strategie ve tvaru hřebene vyrušila z plánovaného obrábění na ostatních upínačích. Jeden z důvodů byl také ten, že tepelný upínač je dvakrát tak delší než kleštinový a tam by destrukce z poznatků u kleštinového upínače hrozila o to více. Po rozhodnutí bylo možno frézovat další 2 drážky strategií ve tvaru trochoidy. V tomto případě již nebyl žádný zjevný problém, proto mohlo frézování pokračovat dalšími dvěma strategiemi a to frézováním ve tvaru trochoidy, ale s odjezdem v ose Z po odebrání materiálu. Po dofrézování poslední drážky došlo k nečekané destrukci nástroje nejspíše vlivem velkého opotřebení a možného zaklínění odebíraných třísek.

Jako druhý typ upínače pro frézování byl vložen do stroje hydraulický upínač. Opět byl upínač s nástrojem naměřen automaticky ve stroji a pak před samotným obráběním nastalo proměření házivosti. Po těchto úkonech se mohlo přistoupit k samotnému frézování. Vynechala ze zde již zmíněná strategie dynamická ve tvaru hřebene. Stroj byl tedy spuštěn a mohlo proběhnout frézování dvou drážek strategií ve tvaru trochoidy. Frézování těchto dvou drážek proběhlo bez sebemenšího problému. Obrábění se tedy mohlo posunout k frézování dalších dvou drážek strategií ve tvaru trochoidy, avšak s odjezdem v ose Z po odebrání materiálu. I tato strategie s hydraulickým upínačem proběhla bez problému. Po vytažení upínače s nástrojem již nebylo patrné, tak velké opotřebení nástroje jako tomu bylo po obrábění v kleštinovém upínači. Značnou mírou tomu napomohlo i vynechání dynamické strategie ve tvaru hřebene. Po kontrole nástroje mohlo tedy dojít na obrábění třetím a posledním tepelným upínačem.

Posledním třetím vybraným upínačem byl tepelný upínač od firmy Mapal. Tento upínač byl opět upnut do stroje a proměřen strojem a následně na nástroji byla proměřena házivost. Po těchto úkonech se mohlo přistoupit k samotnému obrábění zbylých drážek. Nejprve bylo za úkol vyfrézovat dvě drážky strategií ve tvaru trochoidy. Opět jako u hydraulického upínače, i zde byla vyřazena dynamická strategie ve tvaru hřebene. Avšak ihned po začátku obrábění byly patrné nepříznivé zvuk při obrábění a velmi zvýšené vibrace. Bylo tedy po konzultaci rozhodnuto přerušení obrábění a záměna za jiný typ tepelného upínače. Bylo tedy nutno vyjmout nástroj z již používaného upínače a vložit do nového typu tepelného upínače od firmy Sandvik Coromant. Tento upínač již nebyl monolitní, ale skládal se z části pro upnutí do vřetena stroje a prodloužení s koncem pro tepelné upínání nástroje. Po kompletaci upínače a upevnění nástroje bylo možno pokračovat v obrábění. Opět byl nový upínač vložen do stroje a proměřen. Dále byla proměřena házivost nástroje. Již po samotném proměření házivosti byla patrná daleko větší přesnost daného upínače. Následný obráběcí cyklus také ukázal, že volba nového typu upínače byla velmi dobrá. Vibrace a nepříznivé zvuky během obrábění zmizely a obrábění probíhalo bez větších problémů. Až na poslední drážce došlo bohužel k destrukci nástroje. Příčina této destrukce mohla spočívat v zaklínění neodvedené obrobené třísky, nebo případně mohl být v místě destrukce vměstek, který se tam mohl vyskytovat už při výrobě v hutích. Vždy na konci hrubovací operace bylo provedeno dokončení boků drážek. Dno drážek zůstalo bez obrábění. Po konečné obrábění došlo na očištění obráběného kusu od chladicího media, a také došlo k ojehlení ostrých částí. Po těchto úkonech bylo možno vzít obráběné kusy k proměření.

5.7 Opotřebení nástroje

Po výrobě první drážky byl vyndán kleštinový upínač s nástrojem a bylo pořízeno pár snímků opotřebení nástroje. První drážka byla vyráběna dynamickou strategií a nástroj dostával velmi velké rázy. Na snímcích s mikroskopu bylo patrné, že tato strategie není moc vhodná pro daný nástroj. Pokračováním v obrábění touto strategií by bylo velmi rizikové a hrozila by častá destrukce nástroje. Výroba touto strategií s tímto nástrojem by byla velmi ekonomicky náročná z důvodu časté destrukce nástroje.



Obr. 28 Opotřebení nástroje po obrobení jedné drážky



Obr. 29 Část nástroje po destrukci

Na obrázku je zřejmé, že dynamická strategie dala nástroji velmi zabrat. Na nástroji dokonce chybí částí břitů. Obrábění touto strategií je tedy velmi rizikové, s tak malým průměrem nástroje. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole i přes toto opotřebení bylo rozhodnuto ještě vyzkoušet obrobení další drážky touto strategií, avšak obrábění proběhlo

v menší hloubce. Na konci této drážky, ale došlo k destrukci nástroje. Nástroj se roztříštil na několik kusů.

Při obrábění s hydraulickým upínačem dopadl nástroj o poznání lépe i díky vynechání dynamické strategie. Jako jediný také nástroj vydržel po celou dobu obrábění a je ještě schopen možného dalšího použití. I když je možno vidět vady břitech.



Obr. 30 opotřebení nástroje z hydraulického upínače



Obr. 31 Zbytek nástroje v tepelném upínači



Obr. 32 Část nástroje z tepelného upínače

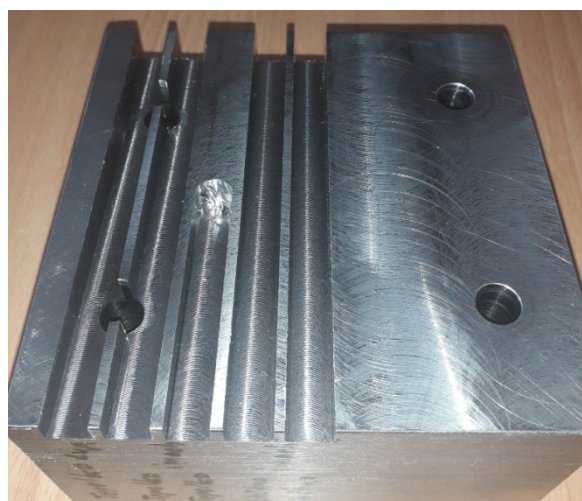
U posledního tepelného upínače bohužel nebylo možno pořídit snímek opotřebení rezných částí nástroje. Během obrábění nastala totiž destrukce nástroje, a ten se roztříštil na několik kusů. K destrukci muselo dojít zaklíněním třísky při obrábění nebo vlivem vměstku v základním materiálu. Samotné obrábění nevypovídalo žádné problémy.

5.8 Vyhodnocení obrábění a házivosti nástrojů

Výsledkem obrábění mělo být zjištění, jestli má při daných řezných podmínkách vliv házení nástroje v daném upínači na přesnost a drsnost obrobeného povrchu. Nebo jestli při dané strategii nedojde vlivem házení a razance obrábění k deformaci žeber mezi drážkami. Deformace žebra by se projevila následnou změnou jak šířky drážky, tak tloušťky žeber.



Obr. 33 Obrobené drážky první kus



Obr. 34 Obrobené drážky druhý kus

Po kompletním obrobení mohlo tedy dojít na samotnou kontrolu jak vizuální, tak i metrologickou. Nejprve následovalo proměření šířky drážek. Proměření všech drážek v několika místech nakonec ukázalo, že obrábění využitými strategiemi a použitými obráběcími parametry nezpůsobily žádné deformace žeber mezi drážkami, ale mezi jednotlivými upínači se vyskytly rozdíly v naměřených hodnotách. Drážka měla mít totiž šířku plánovaných $10_{-0,2}^0$ mm a tloušťky žeber měly mít šířku plánovaných $2_0^{+0,2}$ mm. Rozměry, ale byly rozdílné v závislosti a použitým upínači a dané strategii.



Obr. 35 Posuvné měřítko použité pro měření šířky drážek ¹⁴

Pro měření šířky drážek bylo použito posuvné měřítko od firmy Mahr, které je možno vidět na obrázku 35. Pro měření šířky žeber byl použit talířkový mikrometr Feinmesszeugfabrik Suhl/ DDR, který je možno vidět na obrázku 36.



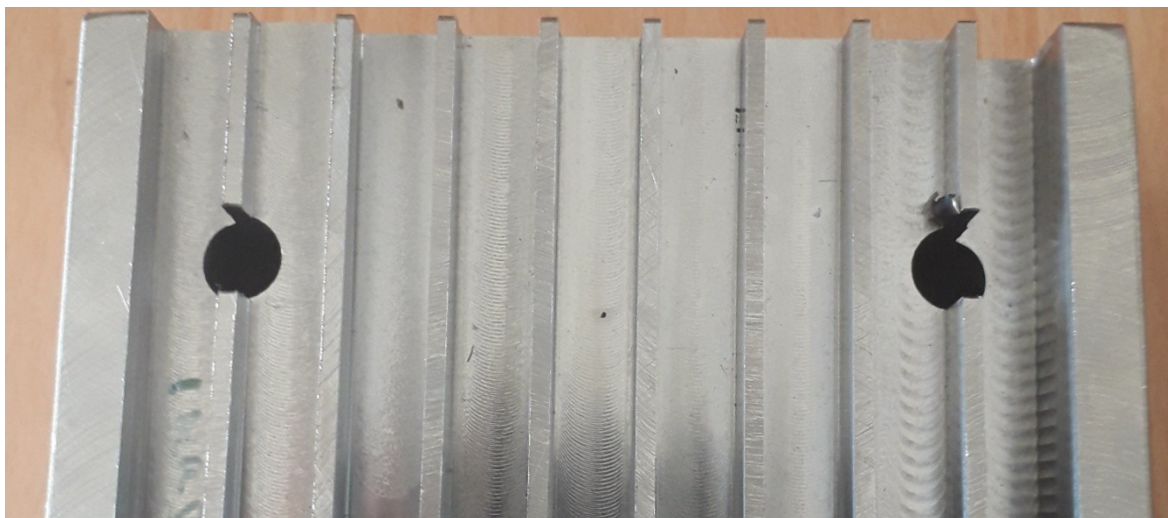
Obr. 36 Mikrometr

Jako poslední proměření následovalo měření drsnosti na dně vyfrézovaných drážek. Po vizuální stránce se zdálo, že obrobené povrchy jsou víceméně totožné. Ale tento odhad bylo ještě potřeba potvrdit samotným měřením. Pro měření drsnosti byl využit přístroj od firmy Mitutoyo SURFTEST SJ-400. Jedná se o velmi přesný stroj pro měření drsnosti a jeho hlavní výhodou je velikost a možnost přenášení na potřebné místa. Přístroj je možno vidět na obrázku 37.

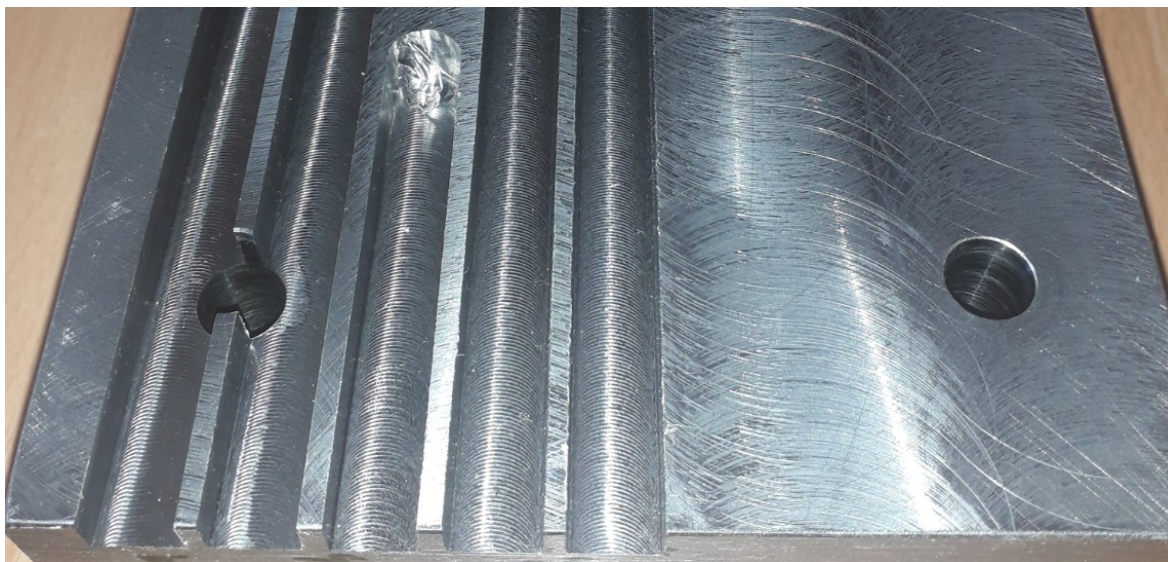


Obr. 37 Přístroj pro měření drsnosti Mitutoyo ¹¹

Po vykonaných měřeních drsnosti povrchu je zřejmé že obrábění různými strategiemi a různými upínači měly jen velmi malý vliv na drsnost plochy dna dané obráběné drážky. Je potřeba podotknout, že na danou plochu nebyl použit dokončovací cyklus obrábění. Drsnost povrchu je tedy pouze obrobená hrubovacím cyklem.



Obr. 38 Stopy nástroje na dně drážek díl 1



Obr. 39 Stopy nástroje na dně drážek díl 2

V následujících tabulkách je možno vidět rozdíly hodnot jak drsnosti povrchu, tak i rozměrové hodnoty šířky vyfrézovaných drážek.

Tab. 5 Naměřené hodnoty drsnosti v drážkách

Měření	R _z [μm]	R _a [μm]
1UP_1STR_1DR	10,83	2,14
1UP_1STR_2DR	10,80	2,16
1UP_2STR_1DR	13,00	2,92
1UP_2STR_2DR	11,27	2,24
1UP_3STR_1DR	16,00	3,53
1UP_3STR_2DR	15,93	3,63
2UP_2STR_1DR	14,77	3,30
2UP_2STR_2DR	14,83	3,30
2UP_3STR_1DR	12,07	2,43
2UP_3STR_2DR	11,97	2,49
3UP_2STR_1DR	15,73	3,16
3UP_2STR_2DR	14,67	3,06
3UP_3STR_1DR	17,47	3,64
3UP_3STR_2DR	16,70	3,38

Tab. 6 Naměřené šířky drážek

Měření	Šířka drážky [mm]
1UP_1STR_1DR	9,85
1UP_1STR_2DR	9,85
1UP_2STR_1DR	9,82
1UP_2STR_2DR	9,83
1UP_3STR_1DR	9,68
1UP_3STR_2DR	9,65
2UP_2STR_1DR	9,69
2UP_2STR_2DR	9,72
2UP_3STR_1DR	9,75
2UP_3STR_2DR	9,76
3UP_2STR_1DR	9,69
3UP_2STR_2DR	9,71
3UP_3STR_1DR	9,64
3UP_3STR_DR2	9,09

Vysvětlivky zkratk v dané tabulce:

- 1 UP Kleštinový upínač,
- 2 UP Hydraulický upínač,
- 3 UP Tepelný upínač,
- 1 STR Strategie frézování hřeben,
- 2 STR Strategie frézování trochoida,
- 3 STR Strategie frézování trochoida SolidCAM,
- 1 DR Drážka 1. danou strategií,
- 2 DR Drážka 2. danou strategií.

V daných tabulkách je možno vidět rozdíly hodnot mezi jednotlivými strategiemi a použitými upínači. Co se týče drsnosti povrchu na dně drážek, je patrné, že zde nejsou až tak velké rozdíly s výjimkou první drážky obráběné tepelným upínačem. Tato drsnost byla zapříčiněna vibracemi daného upínače při obrábění, který byl, jak je již zmíněno dříve zaměněn. Z daných hodnot je možné zjistit, že obrábění strategií ve tvaru trochoidy, kdy nástroj po úběru nevyjíždí v ose z má u všech upínačů velmi podobnou drsnost. Je tedy možno konstatovat, že daná strategie obrábění může vytvářet dobrou drsnost povrchu již při hrubovacích operacích. Ale ostatní strategie, jsou také schopny vytvářet jak je patrné z výsledků dobré jakosti povrchů. Jak je již zmíněno v předchozím textu šířka frézované drážky měla mít rozměr $10_{-0,2}^0$ mm. Z tabulky je možno vidět, že dané rozměry drážek nejsou ve většině případu v požadované toleranci. V toleranci jsou akorát drážky vyrobené kleštinovým upínačem a také strategií frézování ve tvaru trochoidy. Do této tolerance se ještě vešly drážky vyrobené dynamickou strategií ve tvaru hřebene. Tyto drážky danou strategií se tedy povedlo vyrobit na první pokus. Ostatní drážky mají rozměry mimo danou toleranci, ale všechny drážky by bylo po určité korekci na stroji možno dokončit na požadovaný rozměr. Nejedná se tedy o zmetkový výrobek. Je, ale patrné, že je rozdíl v použitých upínačích. Při tomto experimentu je možno jako nejlepší upínač považovat kleštinový upínač. Na druhé místo lze zařadit tepelný upínač a to s toho důvodu, že tento upínač dosáhl přibližně podobných hodnot jako hydraulický upínač, ale při dvakrát delším vyložení nástroje. Je tedy možno říct, že i přes svou dlouhou konstrukci se tepelný upínač řadí mezi velmi přesné. V následující kapitole bude možno porovnat velikosti házení nástrojů v daných upínačích. Z daných hodnot ale vychází, že upínač s nejvyšší házivostí byl schopen vyrobit drážky s nejvyšší přesností a nejlepší drsností povrchu. Jednalo se o již zmíněný kleštinový upínač.

5.9 Výpočet hodnot házivosti

Pro dané upínače použité v experimentu je v následujících bodech metrologický výpočet házivosti nástrojů v kleštinovém, hydraulickém a tepelném upínači. Pro výpočet bylo vždy naměřeno deset hodnot v místě vetknutí nástroje do upínače a v místě pěti milimetrů od břitu nástroje, tedy skoro na konci nástroje. Tento výpočet házivosti se skládal z naměřených hodnot výpočtu jejich absolutní hodnoty mezi nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotou házivosti, průměru a dále také z výpočtu nejistoty měření typu a, b, c. Následně po výpočtu těchto hodnot bylo možno stanovit výslednou hodnotu házivosti nástroje v upínači.

Nejprve pro výpočet je potřeba vytvořit tabulku s naměřenými hodnotami a poté pomocí programu excel byly provedeny výpočty průměrných hodnot a součty jednotlivých mezivýsledků. Tyto hodnoty a naměřené hodnoty je možno vidět v příloze této práce. Z naměřených hodnot je možno stanovit velikost házivosti výpočtem z naměřených hodnot. Jako další krok je potřeba vypočítat nejistotu měření typu a. Tato nejistota se vypočte pomocí směrodatné odchylky $s(\bar{x})$.

Standardní nejistota měření typu u_A pro kleštinový upínač

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

kde: u_A je standardní nejistota typu A,

$s(\bar{x})$ je směrodatná odchylka,

n je rozsah výběru,

x_i je naměřená hodnota,

\bar{x} je střední hodnota.

V dalším kroku výpočtu je potřeba výpočet nejistoty typu B. Tato nejistota vychází z odhadu možných zdrojů nejistot. Tyto nejistoty jsou především používány na základě zkušeností metrologa a daných normativů. Nejistotu typu B tedy vypočteme ze vztahu, který je konkrétně pro daný typ měření. Pro výpočet nejistoty typu B, byly vybrány dva odhady možných nejistot, které mohly ovlivnit průběh měření. Jsou zaznamenány v tabulce 7.

Standardní nejistota měření typu u_B

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2}$$

kde: u_B je standardní nejistota typu B,

u_{B1} je nejistota způsobená nestálou teplotou v místnosti,

u_{B2} je nejistota indikace měřicího přístroje.

Tab. 7 Zdroje nejistot typu B

	veličina	odhad	rozdělení	Standardní nejistota	koefficient	Příspěvek k nejistotě u
Chyba způsobená nestálou teplotou $\pm 1^\circ\text{C}$	δt	$1\ \mu\text{m}$	Rovnoměrné $k = \sqrt{3}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58$	$-0,29\ \mu\text{m}\cdot\text{K}^{-1}$	$u_{b1} = -0,17\ \mu\text{m}$
Indikace měřeného přístroje	U_e	$1\ \mu\text{m}$	Rovnoměrné $k = \sqrt{3}$	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58$	1	$u_{b2} = 0,58\ \mu\text{m}$

Jako poslední je potřeba vypočet kombinované standardní nejistoty typu C. Tato nejistota se vypočte dle vztahu.

Kombinovaná nejistota měření u_C

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

kde: u_C - kombinovaná standardní nejistota

u_A - standardní nejistota typu A

u_B - standardní nejistota typu B

Poslední fáze výpočtu je výpočet rozšířené kombinované nejistoty U_C . Tato hodnota se vypočte jako součin kombinované standardní nejistoty a koeficientu rozšíření pokrytí, který byl pro tento případ stanoven na hodnotu $k_u = 1,96$ pro 95% přesnost.

Výsledná kombinovaná nejistota měření U_C

$$U_C = k_u \cdot u_C$$

kde: U_C je rozšířená kombinovaná nejistota,

u_C je kombinovaná standardní nejistota,

k_u je koeficient rozšíření pokrytí.

Po všech těchto výpočtech je možno stanovit výslednou hodnotu a to kombinací hodnot, kterými jsou absolutní hodnota házivosti naměřených odchylek házivosti $|x_i|$ a výslednou kombinovanou nejistotou U_C . Výslednou hodnotu je tedy možno zapsat.

$$h = |x_i| \pm U_C$$

Dle výše zmíněných výpočtů je možno propočítat házivost jednotlivých nástrojů. Výsledné hodnoty jsou znázorněny v tabulce. Naměřené hodnoty a ukázkou výpočtu je možno vidět v příloze této práce.

Tab. 8 Výsledné hodnoty házivosti nástrojů v upínačích

Měřící místo	Vetknutí	Na břitu
Typ upínače	-	-
Kleštinový upínač	$0 \pm 0,001 \text{ mm}$	$0,060 \pm 0,013 \text{ mm}$
Hydraulický upínač	$0,040 \pm 0,008 \text{ mm}$	$0,060 \pm 0,013 \text{ mm}$
Tepelný upínač MAPAL	$0,030 \pm 0,007 \text{ mm}$	$0,050 \pm 0,013 \text{ mm}$
Tepelný upínač Sandvik	$0,020 \pm 0,004 \text{ mm}$	$0,020 \pm 0,005 \text{ mm}$

Z tabulky vypočtených hodnot házivosti je zřejmé, že tepelný upínač od firmy Sandvik dopadl nejlépe. Na druhé místo je možno umístit tepelný upínač MAPAL a na společné třetí místo je možno zvolit kleštinový upínač a hydraulický upínač. Všechny hodnoty házivosti jsou tak nízké, že vzhledem k rozměrům vyfrézovaných drážek se ve velké míře na nepřesnostech nepodílely.

5.10 Závěrečné shrnutí experimentu

V závěru experimentu je vhodné shrnout poznatky vzniklé obráběním. V první řadě bylo nutné pro daný experiment vybrat vhodný nástroj, který bude schopen naplnit dané předpoklady. Tímto nástrojem se stala fréza od firmy ISCAR ECL - H7 - CF o průměru 6 mm. Tato fréza byla vybrána dle obráběného materiálu a dalším důvodem byla možnost frézování pod úhlem. Dalším krokem bylo vybrání tří upínačů, které se budou podílet na experimentu. Byly tedy použity tři upínače první byl upínač kleštinový od firmy Sandvik. Jako druhý upínač byl použit hydraulický od formy Schunk. Třetí upínač byl vybrán tepelný a to od firmy MAPAL. Tepelný upínač musel být po začátku frézování zaměněn z důvodu příliš velkých vibrací během obrábění. Během experimentu došlo k destrukci dvou nástrojů. Tyto destrukce byly způsobeny pravděpodobně zaklíněním neodvedené třísky nebo nějakého vměstku v materiálu. Před samotným zahájením frézování proběhlo vždy proměření házivosti nástroje v daném upínači. Po proměření a vyhodnocení velikosti házení vyšlo, že tepelný upínač od firmy Sandvik je nejpřesnější. Za tím to upínačem pak následoval tepelný upínač MAPAL a následně kleštinový a hydraulický upínač. Velikost házivosti, ale neměla velký vliv na kvalitu obroběných ploch jak je patrné z měření drsnosti a šířky drážek. Mezi jednotlivými upínači se objevily rozdílné rozměry a parametr drsnosti, ale tyto odchylky byly daleko větší než velikost házení nástroje. Na nepřesnost výroby mohlo mít větší vliv zvolené řezné parametry a také malý průměr nástroje. Průměr nástroje byl pouhých 6 mm a tato tenká konstrukce se mohla pod velkým řezným nápořem například prohýbat a tvořit danou nepřesnost. Dále je také nutno zmínit, že tepelný upínač jak od firmy MAPAL, tak i od firmy Sandvik byl dvakrát delší než kleštinový a hydraulický upínač. I přesto toto velké vyložení nástroje byl tepelný upínač schopen podobně přesné výroby jako kleštinový a hydraulický upínač. Závěrem lze zmínit, že ani jedna z vyrobených drážek není zmetková. Ty, které jsou vyrobeny mimo toleranci je možno dopravit pomocí korekcí na stroji na požadované hodnoty. Můžeme tedy říct, že vybrané upínače mají velmi dobrou stabilitu při obrábění a jsou vhodné i pro dynamické strategie obrábění.

6 Závěr

Předmětem této práce bylo zjištění, zda je možno zvýšit efektivitu obrábění zvoleným upínačem. V první části této práce je stručně zmíněn rozbor využívaných upínačů v praxi. Podrobněji je pak popsán kleštinový, hydraulický a tepelný upínač. Tyto tři upínače jsou totiž nejvyužívanějšími v praxi. V dalším bodu je také krátká zmínka o upínání nástrojů v tepelných upínačích. Stroje pro upínání nástrojů v tepelných upínačích prošly v posledních letech velkým vývojem. V následující kapitole se je možno dozvědět něco o upínacích částech upínačů do vřetena. Tyto typy upínacích částí, ať už se jedná o ISO kužel nebo HSK kužel mají velký vliv na obrábění. Každý typ upínací částí se totiž liší svou konstrukcí. V následující kapitole je možno se dočíst něco o požadavcích na upínače pro obrábění. Jeden z důležitých požadavků na upínače nástrojů je vyváženost. Tato vlastnost je velmi důležitá pro obrábění především při otáčkách vyšších jak $10000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Dále je v této kapitole zmíněno něco o přesnosti upnutí nástroje a také o principu vyvažování upínačů nástrojů. V další části práce je zmíněno měření házivosti nástroje v upínači. Toto měření se také využívalo při experimentu. V této kapitole je zmíněn princip měření této házivosti. V následujících částech se už práce věnuje samotnému experimentu s upínači nástrojů. Nejprve jsou v úvodních kapitolách popsány důležité informace o použitém nástroji pro obrábění a také o vybraném materiálu pro obrábění daného experimentu. V krátkosti je i zmínka o stroji, na kterém experiment probíhal. V další části práce jsou již popsány použité upínače nástrojů a jejich označení. V další kapitole je popsáno měření házivosti na daných upínačích. Je zde popsán princip měření a měřicí pomůcky. Následuje samotný popis průběhu obrábění. Po popisu obrábění následuje vyhodnocení experimentu. Je možno vidět strukturu povrchu dna drážek, ale také je k vidění opotřebení nástrojů po obrábění. V neposlední řadě je k vidění tabulka naměřených hodnot drsnosti a šířky drážek. Po tomto vyhodnocení rozměrů a povrchu drážek následoval výpočet velikosti házivosti nástroje v daném upínači. Po všech těchto krocích bylo možno vyvodit nějaký výsledek experimentu. Experiment ukázal, že dané upínače vykazovaly každý jinou velikost házivosti, ale na rozměry frézovaných drážek, to nemělo až tak velký vliv. Vzniklé nepřesnosti je možno spíše přisoudit tenkému nástroji, který se mohl při obrábění dynamickými strategiemi a zvolenými parametry obrábění prohýbat. Tato práce by měla být víceméně informativní pro jak výuku ve školách, tak i pro případné využití v praxi. Jsou zde popsány parametry obrábění a také strategie obrábění s možností nahlédnutí do výsledku měření a velikosti házivosti nástroje v daných upínačích.

Příloha 1. naměřené hodnoty házivosti kleštinového upínače a ukázka výpočtu nejistot měření

Tab. 9 Hodnoty házivosti na břitu kleštinového upínače

Kleštinový upínač na břitu	
měření n	Naměřená hodnota x_i [mm]
1	0
2	0,02
3	0,02
4	0,01
5	0,01
6	0
7	-0,02
8	-0,03
9	-0,04
10	-0,01
	součet
Průměr \bar{x}	-0,004

Průměr \bar{x} se vypočte jako součet naměřených hodnot děleno počtem měření. U kleštinového upínače je zobrazena pouze jedna tabulka naměřených hodnot z důvodu, že v místě vetknutí nástroje nebyla naměřená žádná házivost nástroje.

Standardní nejistota měření typu u_A pro kleštinový upínač

$$u_A = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n - 1)}}$$

$$u_A = 0,00653 \text{ mm} \Rightarrow 6,53 \text{ } \mu\text{m}$$

Standardní nejistota měření typu u_B pro kleštinový upínač

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2}$$

$$u_B = 0,604 \text{ } \mu\text{m}$$

Kombinovaná nejistota měření u_C pro kleštinový upínač

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

$$u_C = 6,557 \mu\text{m}$$

Výsledná kombinovaná nejistota měření U_C

$$U_C = k_u \cdot u_C$$

$$U_C = 12,852 \mu\text{m}$$

Velikost házivosti

Pro zapsání výsledku velikosti házení budeme ještě potřebovat výpočet velikosti házivosti v daném měření. Tento výsledek dostaneme tak, že určíme absolutní hodnotu mezi nejvyšší naměřenou odchylkou házivosti a nejmenší odchylkou.

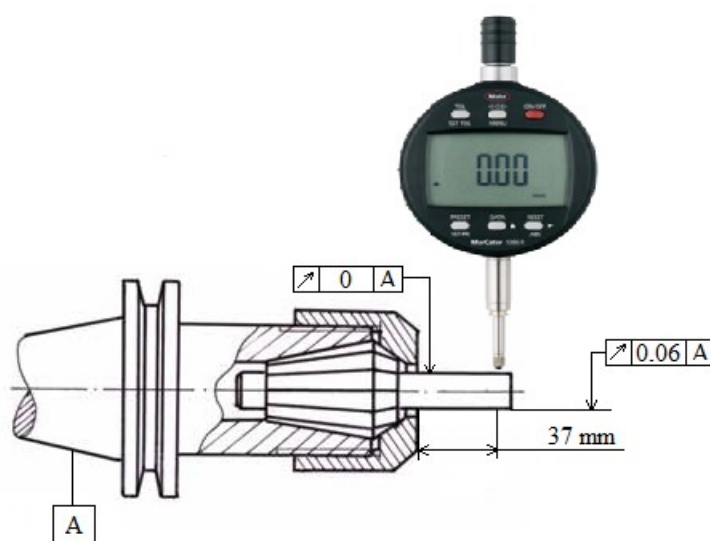
$$|x_i| = 0,02 - (-0,04) = |0,06| \text{ mm}$$

Výsledek vypočtené házivosti

$$h = |x_i| \pm U_C$$

$$h = 0,060 \pm 0,013 \text{ mm}$$

Tímto způsobem byl proveden výpočet u všech ostatních upínačů.



Obr. 40 Házivost kleštinového upínače ^{32; 9}

Příloha 2. naměřené hodnoty házivosti hydraulického upínače

Tab. 10 Hodnoty házivosti hydraulického upínače v místě vetknutí

Hydraulický upínač místo vetknutí	
měření n	Naměřená hodnota x_i [mm]
1	0
2	0,02
3	0,01
4	0,01
5	0,01
6	0,01
7	-0,01
8	-0,01
9	-0,02
10	0,01
	součet
Průměr \bar{x}	0,003

Výsledná hodnota házivosti v místě vetknutí nástroje

$$h = 0,040 \pm 0,008 \text{ mm}$$

Tab. 11 Hodnoty házivosti hydraulického upínače na břitu

Hydraulický upínač na břitu	
měření n	Naměřená hodnota x_i [mm]
1	0
2	0,02
3	0,03
4	0,04
5	0,02
6	-0,01
7	-0,02
8	-0,02
9	0
10	0,02
	součet
Průměr \bar{x}	0,008

Výsledná hodnota házivosti na břitu nástroje

$$h = 0,060 \pm 0,013 \text{ mm}$$



Obr. 41 Házivost hydraulického upínače ^{6; 9}

Příloha 3. naměřené hodnoty házivosti tepelného upínače MAPAL

Tab. 12 Hodnoty házivosti tepelného upínače MAPAL v místě vetknutí

Tepelný upínač v místě vetknutí MAPAL	
měření n	Naměřená hodnota x_i [mm]
1	0
2	0,01
3	0,02
4	0,01
5	-0,01
6	-0,01
7	-0,01
8	0
9	0,01
10	0,02
	součet
Průměr \bar{x}	0,004

Výsledná hodnota házivosti v místě vetknutí nástroje

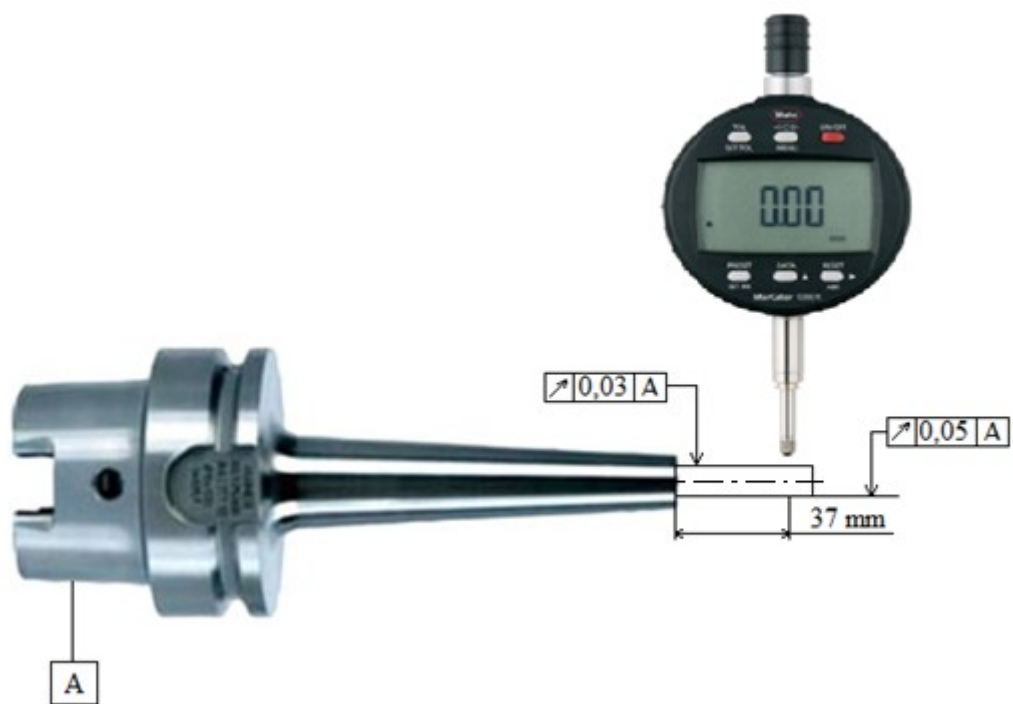
$$h = 0,030 \pm 0,007 \text{ mm}$$

Tab. 13 Hodnoty házivosti tepelného upínače MAPAL na břitu

Tepelný upínač na břitu MAPAL	
měření n	Naměřená hodnota x_i [mm]
1	0
2	0,02
3	0,03
4	0,04
5	0,02
6	-0,01
7	-0,02
8	-0,02
9	0
10	0,01
	součet
Průměr \bar{x}	0,007

Výsledná hodnota házivosti na břitu nástroje

$$h = 0,050 \pm 0,013 \text{ mm}$$



Obr. 42 Házivost tepelného upínače MAPAL ^{33; 9}

Příloha 4. naměřené hodnoty házivosti tepelného upínače Sandvik

Tab. 14 Hodnoty házivosti tepelného upínače Sandvik v místě vetknutí

Tepelný upínač v místě vetknutí Sandvik	
měření n	Naměřená hodnota x_i [mm]
1	0
2	0
3	0
4	0
5	-0,01
6	-0,01
7	-0,01
8	0
9	0,01
10	0
	součet
Průměr \bar{x}	-0,002

Výsledná hodnota házivosti v místě vetknutí nástroje

$$h = 0,020 \pm 0,004 \text{ mm}$$

Tab. 15 Hodnoty házivosti tepelného upínače Sandvik na břitu

Tepelný upínač na břitu Sandvik	
měření n	Naměřená hodnota x_i [mm]
1	0
2	-0,01
3	-0,01
4	0
5	0,01
6	0,01
7	-0,01
8	0,01
9	0,01
10	0
	součet
Průměr \bar{x}	0,001

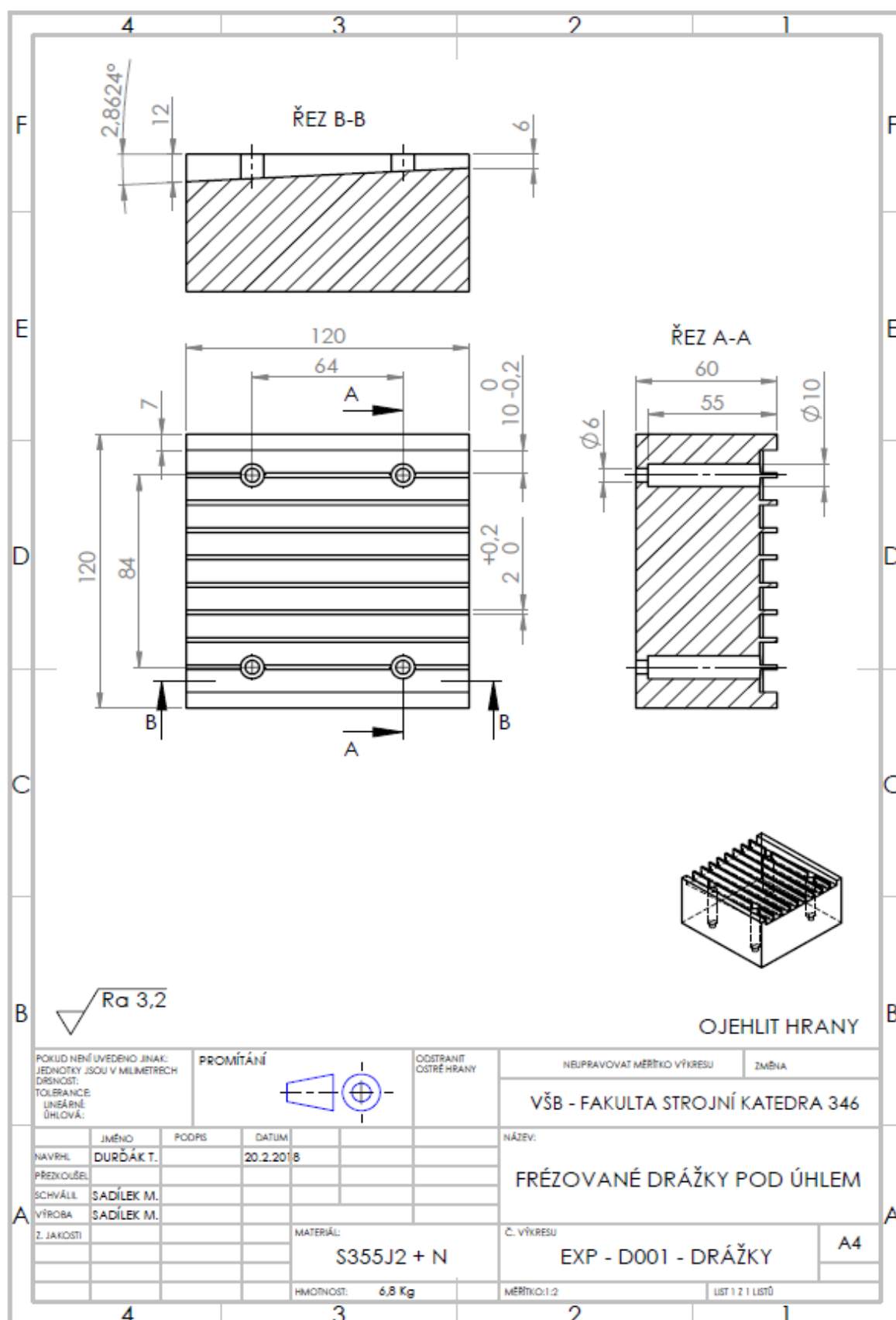
Výsledná hodnota házivosti na břitu nástroje

$$h = 0,020 \pm 0,005 \text{ mm}$$



Obr. 43 Házivost tepelného upínače Sandvik ^{34; 9}

Příloha 5. Výkres vyrobené součásti



Seznam použité literatury

- [1] OBRÁBĚCÍ NÁSTROJE: *Upínání nástrojů* [online]. Praha, 2013 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.grumant.cz/produkty/nastroje-pro-obrabeni/upinani-nastroju>
- [2] OBRÁBĚCÍ NÁSTROJE A UPÍNAČE: *Upínání nástrojů* [online]. 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.taegutec.cz/ttcat/pouziti.php?produkt=6>
- [3] STROJÍRENSKÝ ČASOPIS: *upínání nástrojů* [online]. 2015 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ergonomicke-pristroje-pro-tepelne-upinani-nastroju.html>
- [4] ELEKTRONICKÁ UČEBNICE: *upínací části do vřetene* [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1228>
- [5] STROJÍRENSKÝ ČASOPIS: *Vyvažování nástrojů* [online]. 2011 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nove-technologie-v-upinani-vyvazovani-nastroju.html>
- [6] TECHNICKÝ PORTÁL: *Požadavky na upínač nástrojů* [online]. 2012 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-1_8497.html
- [7] OBRÁBĚCÍ NÁSTROJE A VBD DESTIČKY: *Monolitní fréza* [online]. 2018 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.iscar.cz/index.aspx/countryid/6>
- [8] MĚŘÍCÍ TECHNIKA: *Držák úchylkoměru* [online]. 2018 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej-produkt-440-hydraulicky-magneticky-merici-stativ-s-nohou.html>
- [9] MĚŘÍCÍ TECHNIKA: *Úchylkoměr* [online]. 2018 [cit. 2018-05-06]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej-produkt-440-hydraulicky-magneticky-merici-stativ-s-nohou.html>
- [10] STUPNĚ VYVÁŽENÍ UPÍNAČŮ: *Norma DIN ISO 1940* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://www.dema.mil/Portals/31/Documents/NPP/Forms/ISO_1940-1.pdf
- [11] MĚŘÍCÍ TECHNIKA: *Přístroj pro měření drsnosti* [online]. 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://hammondcompany.com/product/surftest-sj-400/>
- [12] KONSTRUKČNÍ OCELI: *Vlastnosti oceli* [online]. 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/>

- [13] CNC OBRÁBĚCÍ STROJE: *Pětiosá obráběcí centra* [online]. 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://cz.dmgmori.com/>
- [14] MĚŘÍCÍ POMŮCKY: *Digitální posuvka* [online]. 2018 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/p/calipers/3564771/>
- [15] SADÍLEK, M.; DUBSKÝ, J. *Obrábění I - Výběr přednášek*. 2015. VŠB - TU Ostrava, 137 s., ISBN 978-80-246-3857-1
- [16] AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Překl. M. Kudela. 1. vyd. Praha : Scienta, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
- [17] BRYCHTA, J.; CZÁN, A.; ČEP, R.; KRATOCHVIL, J.; PETRŮ, J.; SADÍLEK, M.; STANČEKOVÁ, D.; ZLÁMAL, T. *Progresivní technologie v obrábění a NC programování obráběcích strojů*. VŠB - TU Ostrava, Žilinská Univerzita v Žilině, 173 s., 2014, ISBN 978-80-248-3522-8.
- [18] NESLUŠAL, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentálne metódy v tieskovom obrábaní*. Žilina: EDIS Žilina. 2007, 243s. ISBN 978-80-8070-711-8
- [19] TOLEROVÁNÍ ODCHYLEK: *Obvodová házivost* [online]. 2009 [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action= 0&id = 10931 & revision=-1 & instance= 1>
- [20] UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ: *Tepelný upínač* [online]. 2015 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://www.sktechnik.cz/dokumenty/clanky/2015-06_clanek_Haimer.pdf
- [21] UPÍNACÍ ČÁSTI VŘETEN: *Capto Sandvik* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/coromant_capto/pages/default.aspx
- [22] HÁZENÍ UPÍNAČŮ: *Středění nástrojů a upínačů* [online]. Plzeň, 2015 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/16132/1/Rehor.pdf>
- [23] HÁZENÍ UPÍNAČŮ: *Vyvažování upínačů* [online]. 2005 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyvazovani-pod-drobnohledem.html>

- [24] HÁZENÍ UPÍNAČŮ: *Vyvažování upínačů* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12011/lepsi-kvalita-povrchu-vyssi-otacky-a-rezny-vykon-diky-vyvozovani-nastroju.html>
- [25] GEOMETRICKÉ TOLERANCE: *Házení čelní a obvodové* [online]. 2014 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/geometricke-tolerance>
- [26] STROJÍRENSKÁ METROLOGIE: *Nejistoty měření* [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/StrojMetro/strojirenska-metrologie.pdf>
- [27] UPÍNAČE NÁSTROJŮ: *Hydraulický upínač Tendo E compact* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://www.upinacitechnika.cz/produkty/435197/tendo-e-compact/>
- [28] UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ: *Tepelné upínání* [online]. 2018 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <https://www.mapal.com/cz/standardni-vyrobky/spannen/>
- [29] UPÍNÁNÍ NÁSTROJŮ: *Kleštinový, hydraulický upínače* [online]. 2012 [cit. 2018-05-19]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/upinace-nastroju/upinace-nastroju-2_8498.html
- [30] STROJÍRENSKÁ METROLOGIE: *Obvodové házení* [online]. Ostrava, 2012 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2709-4.pdf>
- [31] STROJÍRENSKÝ WEB: *Hydraulické upínače* [online]. 2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.konstrukter.cz/2017/05/03/hydraulicke-upinace-schunk-tendo-vzdoruji-tepelnym-upinacum/>
- [32] TECHNICKÝ TÝDENÍK: *Upínání nástrojů* [online]. 2012 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/druhy-upinacu-2>
- [33] UPÍNAČE NÁSTROJŮ: *tepelný upínač* [online]. 2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.verko.cz/tepelne-upinani-15081/>
- [34] *Upínače nástrojů: tepelný upínač* [online]. Praha, 2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.hhw.cz/cz/Katalog>

Seznam obrázků

- Obr. 1 Druhy upínačů nástrojů [1]
- Obr. 2 Kleštinové upínače [2]
- Obr. 3 Hydraulický upínač [2]
- Obr. 4 Tepelný upínač [2]
- Obr. 5 Přístroje pro upínání nástrojů [3]
- Obr. 6 Kleštiny upínané pomocí kuželové plochy [2]
- Obr. 7 Kleštiny pro hydraulický upínač [2]
- Obr. 8 Další typy upínačů [2]
- Obr. 9 ISO kužel upnutý ve vřetenu [4]
- Obr. 10 HSK kužel před a po upnutí [4]
- Obr. 11 Systém upínání Capto
- Obr. 12 Přístroj pro vyvažování upínačů nástrojů [5]
- Obr. 13 Nevývaha upínače s nástrojem [6]
- Obr. 14 Vztah mezi otáčkami a nevyváhou Pro danou jakost upínače [10]
- Obr. 15 Ukázka měření házivosti [6]
- Obr. 16 Obvodové házení [19]
- Obr. 17 Nástroj použitý při experimentu [7]
- Obr. 18 Připravený materiál upnutý v obráběcím stroji
- Obr. 19 Mechanické vlastnosti a chemické složení materiálu [12]
- Obr. 20 Obráběcí stroj DMG Mori DMU 50 [13]
- Obr. 21 Kleštinový upínač s nástrojem
- Obr. 22 Hydraulický upínač s nástrojem
- Obr. 23 Tepelný upínač Mapal
- Obr. 24 Tepelný upínač Sandvik Coromant
- Obr. 25 Digitální úchylkoměr [9]
- Obr. 26 Magnetický stojan [8]
- Obr. 27 Měření házivosti nástroje
- Obr. 28 Opotřebení nástroje po obrobení jedné drážky
- Obr. 29 Část nástroje po destrukci
- Obr. 30 Opotřebení nástroje z hydraulického upínače
- Obr. 31 Zbytek nástroje v tepelném upínači
- Obr. 32 Část nástroje z tepelného upínače
- Obr. 33 Obrobené drážky první kus

Obr. 34 Obrobené drážky druhý kus
 Obr. 35 Posuvné měřítko použité na měření šířky drážek [14]
 Obr. 36 Mikrometr
 Obr. 37 Přístroj pro měření drsnosti Mitutoyo [11]
 Obr. 38 Stopy nástroje na dně drážek díl 1
 Obr. 39 Stopy nástroje na dně drážek díl 2
 Obr. 40 Házivost kleštinového upínače [32] [9]
 Obr. 41 Házivost hydraulického upínače [6] [9]
 Obr. 42 Házivost tepelného upínače MAPAL [33] [9]
 Obr. 43 Házivost tepelného upínače Sandvik [34] [9]

Seznam tabulek

Tab. 1 rozměrové parametry nástroje
 Tab. 2 Doporučené posuvy frézy výrobcem
 Tab. 3 Skutečné parametry využívané při hrubování
 Tab. 4 Skutečné parametry využívané při dokončování
 Tab. 5 Naměřené hodnoty drsnosti v drážkách
 Tab. 6 Naměřené šířky drážek
 Tab. 7 Zdroje nejistot typu B
 Tab. 8 Výsledné hodnoty házivosti nástrojů v upínačích
 Tab. 9 Hodnoty házivosti na břitu kleštinového upínače
 Tab. 10 Hodnoty házivosti hydraulického upínače v místě vetknutí
 Tab. 11 Hodnoty házivosti hydraulického upínače na břitu
 Tab. 12 Hodnoty házivosti tepelného upínače MAPAL v místě vetknutí
 Tab. 13 Hodnoty házivosti tepelného upínače MAPAL na břitu
 Tab. 14 Hodnoty házivosti tepelného upínače Sandvik v místě vetknutí
 Tab. 15 Hodnoty házivosti tepelného upínače Sandvik na břitu

Seznam příloh

Příloha 1. Naměřené hodnoty házivosti kleštinového upínače
 Příloha 2. Naměřené hodnoty házivosti hydraulického upínače
 Příloha 3. Naměřené hodnoty házivosti tepelného upínače MAPAL
 Příloha 4. Naměřené hodnoty házivosti tepelného upínače Sandvik
 Příloha 5. Výkres vyrobené součásti